

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 25

1445 هـ - 2023 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب
رئيس جامعة البعث
المدير المسؤول عن المجلة

| | |
|-------------------|------------------|
| رئيس هيئة التحرير | أ. د. محمود حديد |
| رئيس التحرير | أ. د. درغام سلوم |

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
م. هلا معروف

| | |
|------------------|----------------|
| عضو هيئة التحرير | د. محمد هلال |
| عضو هيئة التحرير | د. فهد شريباتي |
| عضو هيئة التحرير | د. معن سلامة |
| عضو هيئة التحرير | د. جمال العلي |
| عضو هيئة التحرير | د. عباد كاسوحة |
| عضو هيئة التحرير | د. محمود عامر |
| عضو هيئة التحرير | د. أحمد الحسن |
| عضو هيئة التحرير | د. سونيا عطية |
| عضو هيئة التحرير | د. ريم ديب |
| عضو هيئة التحرير | د. حسن مشرفي |
| عضو هيئة التحرير | د. هيثم حسن |
| عضو هيئة التحرير | د. نزار عبشي |

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

| الصفحة | اسم الباحث | اسم البحث |
|---------|--|--|
| 46-11 | م. الياس عوض د. عبد الله غندور | دراسة وتحليل مرآة التيار الأساسية باستخدام ترانزستورات مصممة بتقنية أنابيب الكربون النانوية (CNTFET) |
| 86-47 | م. شادي بلدي | نمذجة وتحليل البيانات الطبية الضخمة في بيئة الحوسبة السحابية |
| 114-87 | م. علي سلامة د. رفيع جبره د. أيهم الشبل | الوصلات الهجينة أحادية التراكب مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم في هياكل الطائرات: دراسة تجريبية ومحاكاة عددية |
| 146-115 | م. محمد حليبه د. ياسر عمله | مقارنة أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد في الوصلة الصاعدة باستخدام خوارزميات SIC |
| 172-147 | د. أيوب حسن د. محمد علي د. هيثم عيسى م. مي سعيد | دراسة عددية للطبقة الحدية الحرارية لجريان الهواء الساخن ضمن أنبوب متقارب باستخدام ديناميك الموائع الحسابية CFD |

دراسة وتحليل مرآة التيار الأساسية باستخدام ترانزستورات مصممة بتقنية أنابيب الكربون النانوية (CNTFET)

طالب الدكتوراه: م. الياس عوض

كلية الهك - جامعة البعث

الدكتور المشرف: أ.د. عبد الله غندور

ملخص البحث

يقدم البحث طريقة لدراسة وتحليل أداء مرآة التيار الأساسية المكونة من ترانزستورات الأثر الحثي المصممة باستخدام تقنية أنابيب الكربون النانوية CNTFET وذلك باستخدام لغة البرمجة Verilog A في تصميم ترانزستور CNTFET قناة N وفقاً لنموذج جامعة Stanford وتضمنين هذا النموذج ضمن مكتبة جديدة باستخدام برنامج Advanced Design System 2022، والانطلاق من هذا النموذج في تصميم مرآة التيار الأساسية. وتم في هذا البحث دراسة تأثير كل من $chirality(n,m)$ للأنيوب النانوي وعدد الأنابيب النانوية والتيار المرجعي وجهود التغذية على بارامترات مرآة التيار من حيث معامل تضخيم التيار والخطأ المثوي للتيار وعلاقة تيار الخرج بالدخل ومقاومة الخرج المستمرة.

كما تم في هذا البحث تحليل أداء مرآة التيار من حيث مقاومة الخرج المتناوبة وعرض المجال الترددي وذلك بالاعتماد على برنامج cadence VMware Workstation 2022 وذلك بعد محاكاة مميزات الفولت-أمبير لترانزستورات CNTFET باستخدام أداة المحاكاة FETToy، ومحاكاة لكثافة الحالة Density Of State للأنيوب النانوي باستخدام أداة المحاكاة CNTbands 2.2.

كلمات مفتاحية: الأنبوب النانوي، مرآة التيار، ترانزستورات CNTFET، ADS،

CADANCE.

Study and analysis of the basic current mirror using carbon nanotube transistors (CNTFET)

summary

The research presents a method to study and analyze the performance of the primary current mirror consisting of field effect transistors designed using carbon nanotube technology CNTFET, using the Verilog A programming language to design an N-channel CNTFET transistor according to the Stanford University model and include this model in a new library using the Advanced Design System 2022 program, and launch from this model in the design of the basic current mirror. in this research, the effect of each of the chirality (n, m) of the nanotube, the number of nanotubes, the reference current, and the feeding voltages was studied on the parameters of the current mirror in terms of the current amplification coefficient, the percent error of the current, the relationship of the output current with the input, and the continuous output resistance.

In this research, the performance of the current mirror was analyzed in terms of AC output resistance and bandwidth, based on the cadence VMware Workstation 2022 program, after simulating the volt-ampere characteristics of CNTFET transistors using the FETToy simulation tool, and simulating the density of state of the nanotube using the simulation tool. CNTbands 2.2.

Keywords: nanotube, current mirror, CNTFET transistors, ADS, CADANCE.

1- مقدمة

تستخدم تقنيات التغذية (الانحياز) في الترانزستورات في معظمها شبكات من المقاومات لتقسيم جهد التغذية حسب الطلب، وفي حين أن تقنية التغذية هذه تصلح للاستعمال في الدارات المكونة من عناصر منفردة، إلا أنها لا تصلح للاستعمال في الدارات المتكاملة (IC)، حيث أن المقاومات تتطلب مساحات كبيرة نسبياً من سطح رقاقة الدارة المتكاملة إذا ما قورنت بالمساحة التي يتطلبها وجود الترانزستور.

لذلك فإن الدارة التي تتضمن عدداً كثيفاً من المقاومات تحتاج بالضرورة إلى رقاقة (chip) ذات سطح كبير، كما أن تقنية التغذية بوساطة المقاومات تحتاج إلى مكثفات الربط والتمرير على نطاق واسع، حيث من شبه المستحيل تصنيع مكثفات سعاتها من مرتبة الميكرو فاراد على رقاقة الدارة المتكاملة، كما هو في حالة مكثفات الربط التي تتطلب هذه القيم. بينما يمكننا بسهولة تصنيع الترانزستورات على رقائق الدارة المتكاملة، ويمكننا أيضاً إنتاج ترانزستورات ذات مميزات متطابقة أو متماثلة.

إن تقنية تمييز الترانزستورات ودارات الترانزستور في الدارات المتكاملة تختلف كلياً عنها في الدارات المكونة من ترانزستورات منفردة (منفصلة)، حيث إن تغذية مضخمات الدارات المتكاملة تستلزم حتماً استخدام منابع التيار الثابت (مرايا التيار) [1]. وفي هذا البحث سندرس أحد أنواع هذه المرايا وهي مرآة التيار الأساسية المكونة من ترانزستورين. لقد شهدت التكنولوجيا القائمة على السليكون نمواً هائلاً خلال العقود القليلة الماضية. ويرجع جزء كبير من نجاح الترانزستور MOSFET إلى حقيقة أنه يمكن تصغير أبعاده إلى قيم صغيرة، مما يؤدي إلى أداء أعلى، ولكن معظم هذه الترانزستورات تصل تقريباً إلى حجم محدد. لهذا السبب، تبحث صناعة أنصاف النواقل عن مواد وأجهزة مختلفة لدمجها مع التكنولوجيا الحالية القائمة على السيليكون. إن ترانزستورات تأثير الحقل الكهربائي المعتمدة على أنابيب الكربون النانوية Carbon Nanotube Field Effect Transistor (CNTFET) هي البدائل الواعدة بسبب خصائصها الكهربائية الفائقة.

2-هدف البحث

يهدف البحث إلى عدد من النقاط الهامة وهي:

- 1) دراسة تأثير تغير $chirality (n,m)$ للأنبوب النانوي على تغير كل من قطر الأنبوب وفجوة الطاقة في ترانزستورات CNTFET.
- 2) دراسة ومحاكاة لكثافة الحالة Density Of State للأنبوب النانوي لتحديد خصائص عمله كناقل أو كمنصف ناقل بالاعتماد على فجوة الطاقة.
- 3) دراسة ومحاكاة مميزات الفولت-أمبير لترانزستورات CNTFET باستخدام أداة المحاكاة FETToy.
- 4) تحليل أداء مرآة التيار الأساسية وتأثير $chirality$ وطول القناة وعدد الأنابيب النانوية وجهد التغذية والتيار المرجعي عليها من حيث علاقة تيار الخرج بدلالة تيار الدخل وعامل تضخيم التيار، والخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة الدخل، ومقاومة الخرج المستمرة لمرآة التيار.
- 5) تحليل أداء مرآة التيار فيما يتعلق بمقاومة الخرج المتناوبة لها كتابع للتردد وكذلك حساب عرض المجال الترددي.

3-آلية إجراء البحث

في البداية تم إعطاء مقدمة عن أنابيب الكربون النانوية CNT مع توضيح لأنواعها، ثم تم دراسة تأثير $chirality(n,m)$ على قطر الأنبوب النانوي وعلى فجوة الطاقة وعلى كثافة الحالة وعلى زاوية $chiral$ ، باستخدام أداة المحاكاة "CNTbands 2.2" وتم عرض الأشكال وتلخيص النتائج ضمن جدول.

بعدها تم استخدام أداة المحاكاة FETToy من الموقع www.nanohub.org وذلك لدراسة مميزات الخرج ومميزات الفولت أمبير لترانزستور CNTFET، وتم رسم المنحنيات المناسبة والتي تساعد في تصميم مرآة التيار.

تم بعد ذلك تصميم ترانزستور CNTFET وفق لغة البرمجة Verilog A ووفق النموذج المقترح في جامعة Stanford، وتم تضمين هذا النموذج ضمن مكتبة جديدة

CNTFET-n في برنامج Advanced Design System 2022 ليكون هذا النموذج هو اللبنة الأساسية لمرآة التيار الأساسية التي قمنا بتصميمها والمكونة من ترانزستورين من النوع CNTFET-N.

وتم دراسة تأثير بارامترات مرآة التيار على تضخيم التيار والخطأ ومقاومة الخرج الساكنة، وذلك باستخدام أربع تقنيات لطول القناة. وأيضا دراسة تأثير عدد الأنابيب النانوية على بارامترات مرآة التيار.

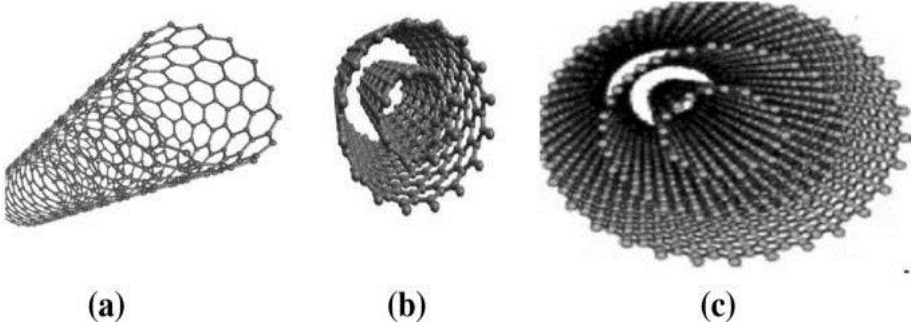
بعدها تم تصميم ترانزستور CNTFET وفق لغة البرمجة Verilog A وتضمينه في مكتبة خاصة ضمن برنامج cadence VMware Workstation 2022 وكذلك نفس النموذج وفقا لجامعة Stanford وتم تصميم مرآة التيار الأساسية وإجراء تحليلات التيار المتناوب عليها (AC)، وذلك لدراسة مقاومة الخرج الديناميكية بدلالة التردد ولحساب عرض المجال الترددي لمرآة التيار وتم رسم المنحنيات المطلوبة.

4-أنابيب الكربون النانوية

في السابق ولفترة ليست ببعيدة كان العلماء لا يعرفون الكثير عن أنابيب الكربون النانوية (CNTs)، لكنهم بالتأكيد يعرفون أنها أنابيب مجوفة خفيفة الوزن للغاية تتكون من ذرات الكربون، الى أن تم اكتشاف الأنابيب النانوية (Carbon Nano Tubes) والتي يرمز لها بـ (CNT) من قبل العالم Iijima عام 1991 [2]، بينما كان ينجز بعض الاختبارات على تركيب جزيئات الكربون، حيث يتألف الأنابيب النانوي الكربوني من ذرات كربون على شكل شبكة من مضلعات مسدسة لتشكل أسطوانة مجوفة.

إن قطر هذه الأنابيب أصغر من طولها بكثير حيث يكون قطر هذه الأنابيب من مرتبة 1nm وطولها يتجاوز 50nm [2]، وبالتالي ستسلك الإلكترونات أثناء انتقالها سلوك انتقال أحادي البعد 1D.

يتم تصنيف أنابيب الكربون النانوية [3] وفقاً لبنيتها إلى: الأنابيب النانوية أحادية الجدار (SWNTs) والأنابيب النانوية متعددة الجدران (MWNTs) والأنابيب النانوية مزدوجة الجدران (DWNTs) كما يبين الشكل (1) [4].



الشكل (1): a- أنبوب نانوي أحادي الجدار b- أنبوب نانوي مزدوج الجدران c- أنبوب نانوي متعدد الجدران

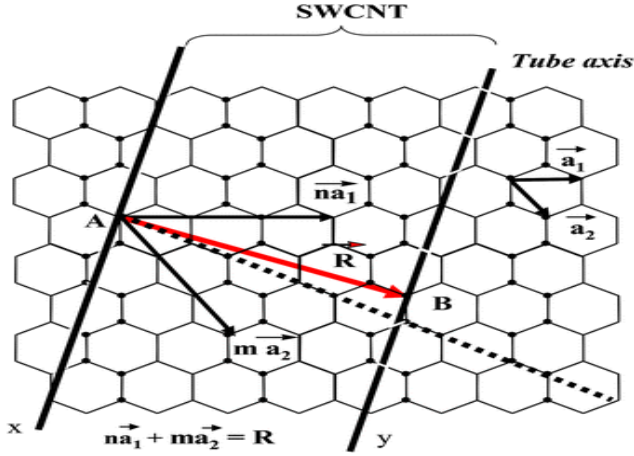
1-4 أنواع أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار (SWCNT)[3]:

تتألف الأنابيب النانوية أحادية الجدار (Single-Walled Nanotube): من رقاقة واحدة من الغرافين ملفوفة على شكل أنبوب أسطواني، حيث يتم لف هذه الرقاقة الوحيدة على شكل أنابيب على طول اتجاهات مختلفة لتشكل أنابيب أحادية الجدار. وتمتلك هذه الأنابيب (SWNTs) إمكانات هائلة في التطبيقات الإلكترونية بسبب خصائصها النادرة مثل القدرة على تحمل التيار العالي.

ويتراوح قطر الأنبوب بين 0.7nm و 10 nm وفي أغلب الحالات يكون معدل قطره في حدود 2 nm، بينما يصل طوله إلى عدة ميكرو مترات، له نهاية واحدة مغلقة على الأقل، وذلك بتركيب نصف كروي يشبه القبة.

يتكون الغرافين من شبكة من ذرات الكربون المرتبطة ببعضها على شكل مضلعات سداسية، فكل ذرة ترتبط مع ثلاث ذرات مجاورة لها. يمكن اعتبار الأنابيب النانوية صفيحة من الغرافين يتم لفها لتشكل أسطوانة جوفاء. يختلف قطر الأنبوب الناتج وبنيته باختلاف طريقة اللف لتختلف معها خواصها الإلكترونية. يبين الشكل (2) [6] كيف

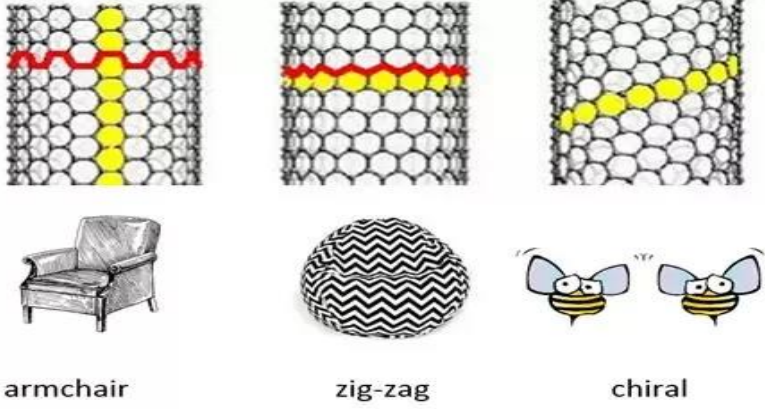
تتوضع ذرات الكربون في صفيحة الجرافين وبيبين أيضاً تمثيلاً تخطيطياً لشبكة الجرافين وشعاع عدم التناظر وشعاعي الشبكة \vec{a}_1, \vec{a}_2 وللذان يشكلان زاوية مقدارها 60 درجة بينهما طول كل من هذين الشعاعين هو $a_0 = \sqrt{3}a_{cc}$ حيث أن $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a_0$ وهو طول الرابطة بين ذرتي كربون متجاورتين [7].



الشكل (2): شبكة الجرافين وشعاعي الشبكة \vec{a}_1, \vec{a}_2 وشعاع عدم التناظر

بسبب تماثل الروابط في الجرافين، يمكن لفها لتشكيل أنواع مختلفة وتشكيلة واسعة من أنابيب النانو الكربونية، لكن يجب تحقيق شرط وهو أن تكون المواقع الذرية في أطراف صفيحة الجرافين متطابقة مع الطرف الآخر بحيث تشكل أسطوانة متجانسة.

يمكن أن تكون SWCNT ذات بنية Chiral أو Achiral ويمكن تقسيم بنية achiral إلى Zigzag و Armchair. وهذا التقسيم تابع لاتجاه لف (طي) الأنابيب النانوي، وبالتالي تابع لقيمة كل من n و m حيث n, m هما ثابت (دليلي) الشعاع. يبين الشكل (3) تصنيف الأنابيب النانوية احادية الجدران حسب اتجاه طي الانبوب النانوي [8].



الشكل (3): تصنيف الأنابيب النانوية حسب اتجاه طي الانبوب

في حالة الانبوب النانوي CNT من نوع armchair يكون $(n=m)$ ، بينما في حالة CNT نوع zigzag يكون $(m=0)$ ، وأية قيمة أخرى ل m ، n غير الحالتين السابقتين فهي أنابيب غير متناظرة (chiral).

ويمكن للأنبوب النانوي أن يكون معدنياً أو نصف ناقل وذلك تبعاً لاتجاه اللف (الطي) (الدوران) والذي يشار إليه بـ chirality ويعبر عنه بشعاعين (n,m) ، حيث n,m هما ثوابت (دليلي) الشعاع وتوضح ذلك المعادلة (1) [9].

$$n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 = a_{cc}\sqrt{n^2 + m^2 + nm} = (n, m) \quad (1)$$

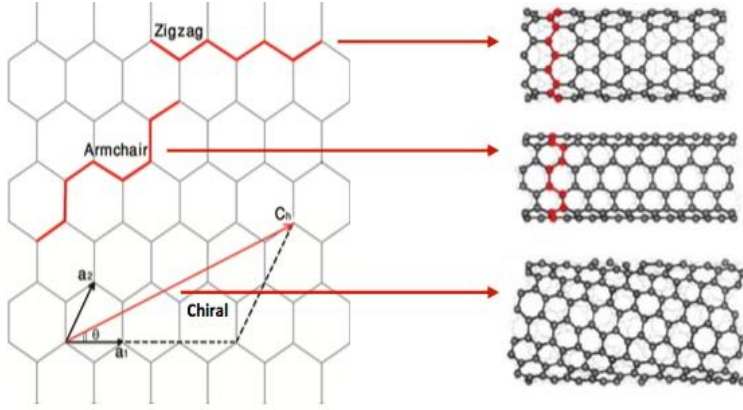
حيث يمثل C_n طول شعاع عدم التناظر chiral. و a_1 و a_2 يعطيان بالعلاقتين (2) و(3):

$$\vec{a}_1 = \sqrt{3} a_{cc} \left\{ \frac{\sqrt{3}}{2} \vec{x} + \frac{1}{2} \vec{y} \right\} \quad (2)$$

$$\vec{a}_2 = \sqrt{3} a_{cc} \left\{ \frac{\sqrt{3}}{2} \vec{x} - \frac{1}{2} \vec{y} \right\} \quad (3)$$

تكون الروابط في الأنابيب ذات نوع zigzag موازية للمحور الطولي، في حين تكون الروابط في الأنابيب ذات نوع armchair موازية للمحور العرضي، أما في الأنابيب

غير المتناظر chiral تشكل الروابط زاوية مع كل من المحور العرضي والطولي، وهذا ما يبينه الشكل (4)[7].



الشكل (4) الأنواع الثلاثة للأنايب أحادية الجدران

من الملاحظ عدم حدوث تشوه في الشكل الهندسي للشبكة ذات المضلعات المسدسة باستثناء تقوس بسيط للروابط وهو أمر طبيعي للحصول على شكل أسطواني، ويحدث أيضاً زيادة في طول الرابطة بين ذرات الكربون في الأنايب الكربونية بالمقارنة مع الغرافين حيث يصبح طول الرابطة $a_{cc}=0.144 \text{ nm}$ [7]. ويتحدد نوع الأنابيب وموصفاته من خلال دليليه (n,m) حيث يتحدد قطر الأنابيب وفقاً ل n,m بالعلاقة (4) [10]:

$$d = \frac{\sqrt{3} a_{cc}}{\pi} \sqrt{n^2 + m^2 + nm} \quad (4)$$

$$= 0.0783 \sqrt{n^2 + m^2 + nm}$$

إن العددين الصحيحين (n,m) ينتميان إلى المجال $0 \leq m \leq n$ أن أي شعاع خارج المجال هو نظير لشعاع داخل المجال السابق وهذا عائد إلى تماثل الشبكة ذات المضلعات السداسية.

2-4 تصنيف أنابيب الكربون النانوية من حيث الناقلية:

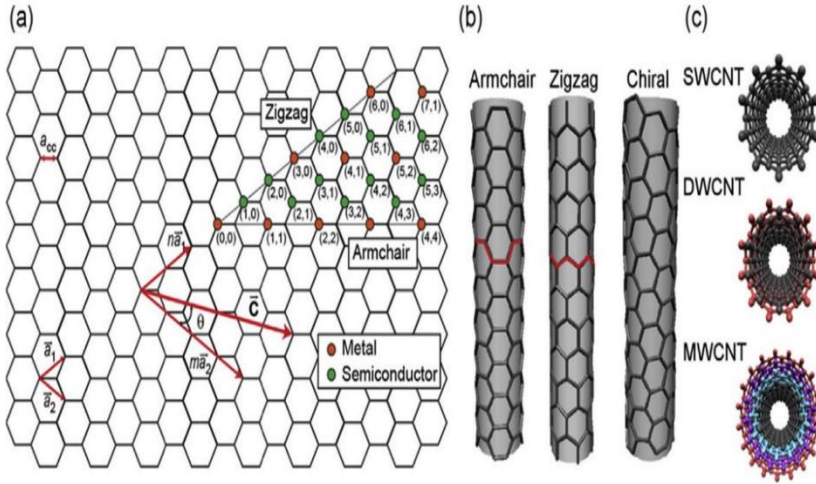
يكون الأنبوب النانوي معدنياً (ناقلًا) إذا كان دليله يحققان العلاقة التالية: $\frac{n-m}{3} = i$ حيث i هو عدد صحيح ويكون فيه فجوة الطاقة صغيرة، ويكون نصف ناقل إذا كان دليله يحققان العلاقة التالية: $\frac{n-m}{3} \neq i$. وبالتالي لمعرفة فيما إذا كان أنبوب الكربون النانوي معدني أم نصف ناقل يجب النظر إلى دليله (n,m) وكمثال على ذلك:

أنبوب نانوي (armchair) فيه $n=m$ أي (n,n) يكون معدنيًا دائماً.

أنبوب نانوي (chiral) فيه $n=13$ و $m=5$ أي $(13,5)$ يكون نصف ناقل.

أنبوب نانوي (zigzag) فيه $m=0$ أي $(n,0)$ يكون نصف ناقل إذا لم تكن n مضاعفات العدد 3.

يظهر الشكل (5) مخططاً يبين صفة الأنابيب النانوية أحادية الجدار فيما إذا كانت معدنيًا أم نصف ناقل وذلك بحسب الدليلين (n,m) [11].

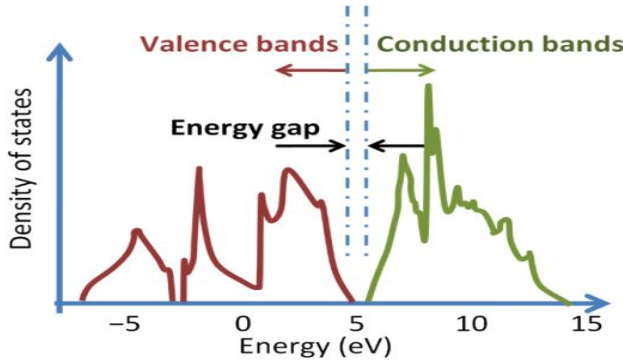


الشكل (5): مخططاً يبين صفة الأنابيب النانوية أحادية الجدار حسب الدليلين (n,m)

5- محاكاة لكثافة الحالة (DOS) Density Of State:

1-5 مقدمة: تصف كثافة الحالة (DOS) [12] لنظام ما عدد الحالات الممكن شغلها لكل فترة من الطاقة في كل مستوى طاقة متاح، حيث يعني ارتفاع مستوى DOS عند مستوى طاقة معين أن هناك العديد من الحالات المتاحة ليتم شغلها، فعندما DOS يساوي الصفر ذلك يعني أنه لا يمكن شغل أي حالة على مستوى الطاقة هذا.

تم في هذا البحث محاكاة لكثافة الحالة (DOS) Density Of State لأنواع مختلفة من الأنابيب النانوية باستخدام أداة المحاكاة "CNTbands 2.2" والتي تظهر فيها فجوة الطاقة حيث نعلم أن فجوات الطاقة في الأنابيب النانوية CNTs صغيرة (من 0.2 إلى 2.3eV) (تمت المحاكاة عند طاقة رابطة 3eV وعند مسافة بين مركز ذرة كربون ومركز الذرة المجاورة بمقدار (1.42 Å)). وبالتالي فإن DOS وأنواع CNT هي التي تحدد الناقلية للمادة. يبين الشكل (6) مخططاً نوعياً لكثافة الحالة مقابل الطاقة. [13]



الشكل (6) مخطط نوعي لكثافة الحالة مقابل الطاقة

تعطى فجوة الطاقة في الأنابيب النانوي بالعلاقة (5):

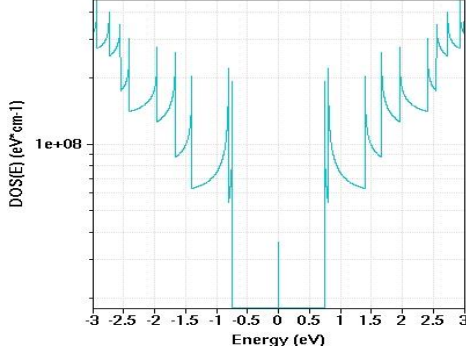
$$E_g = \frac{0.852eV}{D} \quad (5)$$

5-2 محاكاة علاقة الطاقة مع كثافة الحالة لأنابيب نانوية مختلفة:

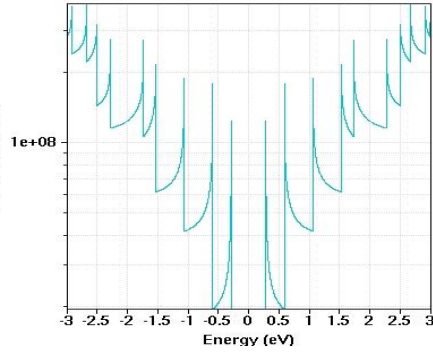
يبين الشكل (7) علاقة الطاقة مع كثافة الحالة لأنبوب نانوي (19,0) من النوع (zigzag)، أما الشكل (8) فيبين علاقة الطاقة مع كثافة الحالة لأنبوب نانوي (21,0)

دراسة وتحليل مرآة التيار الأساسية باستخدام ترانزستورات مصممة بتقنية أنابيب الكربون النانوية (CNTFET)

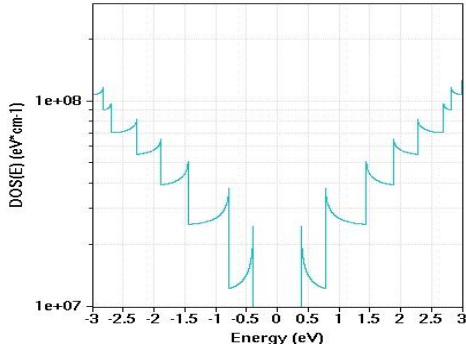
من نفس النوع (zigzag)، وكذلك الشكل (9) يظهر علاقة الطاقة مع كثافة الحالة لأنبوب نانوي (42,0) من النوع (zigzag) أيضاً، كما يبين الشكل (10) علاقة الطاقة مع كثافة الحالة لأنبوب نانوي (10,6) من النوع (chiral) .



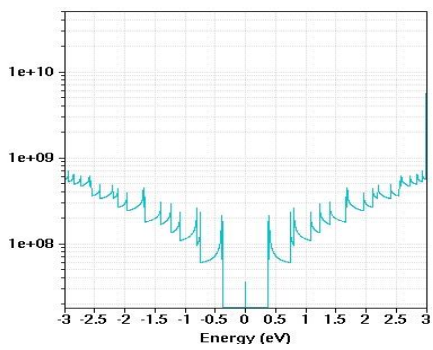
الشكل (8) علاقة الطاقة مع كثافة الحالة من أجل أنبوب نانوي (21,0)



الشكل (7) علاقة الطاقة مع كثافة الحالة من أجل أنبوب نانوي (19,0)



الشكل (10) علاقة الطاقة مع كثافة الحالة من أجل أنبوب نانوي (10,6)



الشكل (9) علاقة الطاقة مع كثافة الحالة من أجل أنبوب نانوي (42,0)

وبمراجعة الأشكال السابقة نجد أن بعض الأنابيب تكون نصف ناقلة (في حال وجود فجوة طاقة) وبعضها ناقلة (معدنية وذلك في حال عدم وجود فجوة طاقة) فمثلاً الأنبوب النانوي (10,6) من النوع (chiral) نجد أنه نصف ناقل وفيه فجوة طاقة مقدارها

(0.76849eV). والانبوب النانوي (19,0) من النوع (zigzag) نجد أنه نصف ناقل وفيه فجوة طاقة (0.56338eV). تم تلخيص نتائج المحاكاة على الأنواع armchair و chiral و zigzag وذلك في الجدول (1) لأنابيب نانوية مختلفة بدلالة $chirality(n,m)$

الجدول (1) نتائج المحاكاة لأنابيب نانوية مختلفة بدلالة $chirality(n,m)$

| فجوة الطاقة (eV) | زاوية chiral (degrees) | قطر الأنبوب (nm) | chirality (m, n) |
|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 0.46973 | (6,0) |
| 0 | 0 | 1.6441 | (21,0) |
| 0 | 0 | 3.2881 | (42,0) |
| 0.010880 | 30 | 1.2204 | (9,9) |
| 0.010880 | 30 | 1.3560 | (10,10) |
| 0.0013296 | 17.784 | 1.1099 | (11,5) |
| 0.0011409 | 24.791 | 1.2935 | (11,8) |
| 0.81678 | 0 | 1.0178 | (13,0) |
| 0.73433 | 20.363 | 1.1691 | (11,6) |
| 0.68612 | 22.689 | 1.2304 | (11,7) |
| 0.56338 | 0 | 1.4875 | (19,0) |

حيث نلاحظ من النتائج أن الانبوب النانوي من النوع armchair هو معدني دائما وفجوة الطاقة فيه صغيرة 0.010880ev، لذلك هذا النوع من الأنابيب لا يصلح لتصميم مرآيا التيار، اما النوعين chiral و zigzag فمن الممكن أن يكونا إما معدن ولا يمكن استخدامهما عندئذ في تصميم مرآيا التيار، أو أن يكونا نصف ناقل وعند هذه الحالة يمكن استخدام الأنبوب النانوي في تصميم مرآيا التيار.

وبالتالي أثناء تصميم مرآة التيار لاحقا سوف نستعين بهذه النتائج لاختار الأنماط $chirality(n,m)$ التي تحقق فقط صفة نصف الناقل للأنبوب النانوي، كما نلاحظ من الجدول أن فجوة الطاقة في الانبوب نصف الناقل تتناقص كلما ازداد قطر الأنبوب النانوي.

6- محاكاة المميزات الساكنة للترانزستور CNTFET:

تم إجراء المحاكاة في بيئة nanoHub.org حيث تم استخدام أداة FETToy وهي أداة تحاكي خصائص I-V لمOSFET والعديد من المنحنيات الأخرى، تم محاكاة العديد من الأنابيب النانوية عند البارامترات التالية الموضحة في الجدول (2):

الجدول (2) بارامترات التحكم باستخدام FETToy

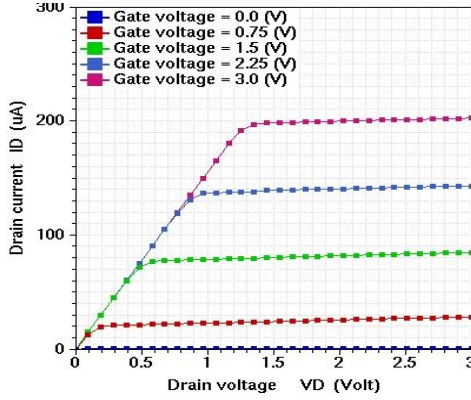
| | | |
|--|--------|---------------------------------------|
| | 0.32 | جهد العتبة |
| نسبة سعة البوابة الى مجموع السعات الكلية (مصرف منبع بوابة) | 0.8 | بارامتر التحكم بالبوابة AlphaG |
| نسبة سعة المصرف إلى مجموع السعات الكلية | 0.035 | بارامتر التحكم بالمصرف AlphaD |
| | 300K | درجة الحرارة T |
| | 1.5 nm | سماكة عازل البوابة (t _{ox}) |
| | 3.9 | ثابت العازلية لعازل البوابة |

وهنا نقدم بعض النتائج:

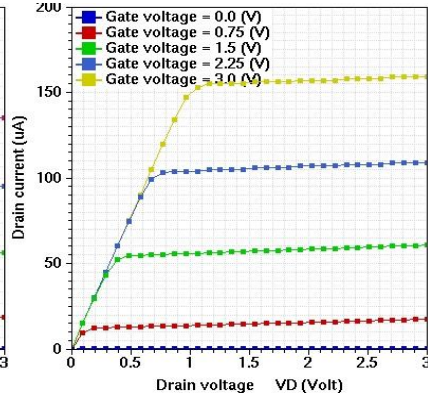
6-1 تأثير قطر الأنبوب النانوي على تيار المصرف في مميزات I_D-V_{DS} :

يبين الشكل (11) مميزات I-V من أجل أنبوب نانوي من النمط $(n,m) = (19,0)$ من النوع zigzag وذي قطر أنبوب $D=1.4875$ nm. ويبين الشكل (12) مميزات I-V من أجل أنبوب نانوي من النمط $(n,m) = (11,0)$ من النوع zigzag وذي قطر أنبوب $D=0.86118$ nm.

حيث تم محاكاة علاقة تيار المصرف I_D بدلالة الجهد بين طرفي المصرف والمنبع V_{DS} وذلك من أجل قيم مختلفة لجهد البوابة V_{GS} تتراوح من 0-3 V.



الشكل (12) مميزات V-I من أجل أنبوب نانوي (11,0) ذات قطر $D=0.86118$ نانومي



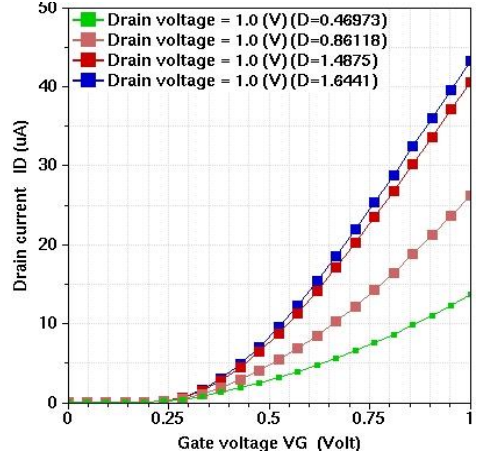
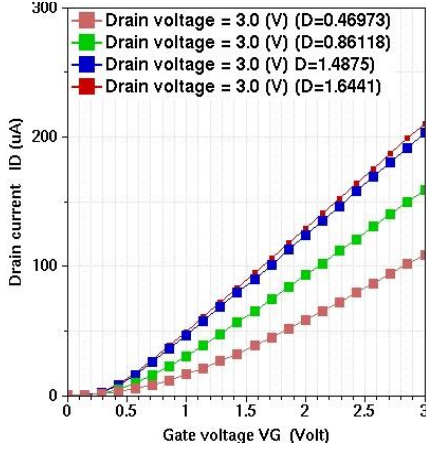
الشكل (11) مميزات V-I من أجل أنبوب نانوي (19,0) ذات قطر $D=1.4875$ نانومي

نلاحظ من النتائج أن قطر الأنبوب النانوي يؤثر على تيار المصرف I_D بعلاقة طردية، فكلما زاد قطر الأنبوب يزداد تيار المصرف، فمن أجل القيم التالية للجهود ($V_{DS}=2V$ و $V_{GS}=3V$)، فإن تيار المصرف $I_D=155$ uA عند قطر أنبوب نانوي $D=0.86118$ nm ويزداد تيار المصرف الى القيمة $I_D=200$ uA عند قطر أنبوب $D=1.4875$ nm.

6-2 تأثير قطر الأنبوب النانوي على تيار المصرف في مميزات I_D-V_{GS} :

تم إجراء المحاكاة من أجل أربعة أنماط من الأنابيب النانوية من النوع zigzag، النمط $(n,m) = (6,0)$ ذات قطر أنبوب نانوي $D=0.46973$ nm، والنمط $(n,m) = (11,0)$ ذات قطر أنبوب نانوي $D=0.86118$ nm، النمط $(n,m) = (19,0)$ ذات قطر أنبوب نانوي $D=1.4875$ nm والنمط $(n,m) = (21,0)$ ذات قطر $D=1.6441$ nm.

يبين الشكل (13) نتائج المحاكاة لعلاقة I_D بدلالة جهد البوابة منبع V_{GS} من أجل جهد $V_{DS}=1V$ وذلك للأنابيب النانوية الأربعة السابقة، كما يبين الشكل (14) نتائج المحاكاة لعلاقة I_D بدلالة جهد البوابة منبع V_{GS} من أجل جهد مصرف منبع $V_{DS}=3V$.



الشكل (14) علاقة التيار I_D بدلالة جهد البوابة V_{GS} من أجل $V_{DS}=3V$

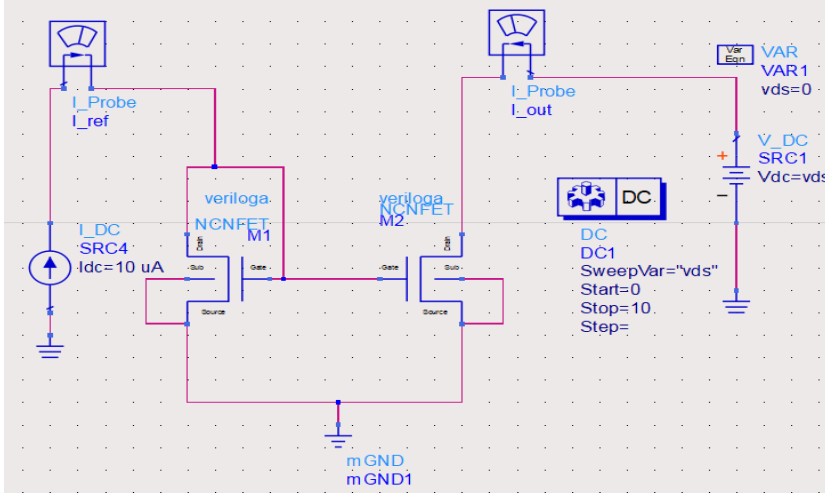
الشكل (13) علاقة التيار I_D بدلالة جهد البوابة V_{GS} من أجل $V_{DS}=1V$

نلاحظ من المنحنيات أنه كلما أزداد قطر الأنابيب النانوي عند نفس قيمة V_{GS} فإن تيار المصرف I_D يزداد وذلك في حالتي $V_{DS}=1V$ و $V_{DS}=3V$. سيتم الاستفادة من مميزات الفولت - أمبير لاحقاً في هذا البحث أثناء تصميم مرآة التيار وذلك لاختيار منطقة العمل المناسبة للترانزستور وتحديد جهد التغذية المناسب لعمل مرآة التيار.

7- محاكاة مرآة التيار الأساسية

يبين الشكل (15) مرآة التيار الأساسية المكونة من ترانزستورين من النوع CNTFET نمط N وفق نموذج Stanford [14]. من المميزات الهامة لمرآة التيار هي نسخ نفس قيمة تيار الدخل I_{REF} الى تيار الخرج I_{OUT} ، ويجب أن تكون مقاومة خرج مرآة التيار

كبيرة وذلك حتى لا يتأثر تيار الحمل الذي سوف تغذيه مرآة التيار، تم في هذا البحث دراسة البارامترات الأربعة لمرآة التيار



الشكل (15) مرآة التيار الأساسية

أولاً: دراسة علاقة تيار الخرج بدلالة تيار الدخل $I_{out} = f(I_{ref})$

ثانياً: دراسة قيمة الخطأ لتيار الخرج مع تيار الدخل كنسبة مئوية والذي يعطى بالعلاقة (6) والذي يجب أن يساوي الصفر في الحالة المثالية [15].

$$error\% = \frac{i_{out} - i_{ref}}{i_{ref}} * 100\% \quad (6)$$

ثالثاً: دراسة تضخيم التيار والذي يعطى بالعلاقة (7)، وهو علاقة نسبة تيار الخرج على تيار الدخل المرجعي والذي يجب أن يساوي الواحد في مرآة التيار المثالية.

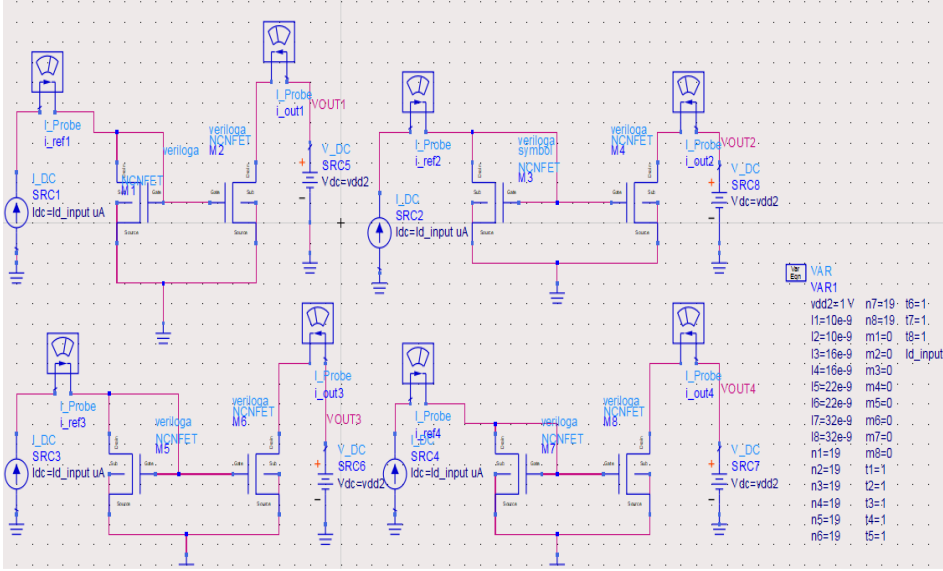
$$a_i = \frac{i_{out}}{i_{ref}} \quad (7)$$

رابعاً: دراسة مقاومة الخرج المستمرة لمرآة التيار R_{out} والتي تمثل مقاومة الدارة منظورا لها من طرفي المصرف لترانزستور الخرج.

يبين الشكل (16) تصميم مرآة التيار الأساسية باستخدام البرنامج Advanced Design System 2022 (64-bit Simulations)، حيث تم هنا مقارنة أربع تقنيات

دراسة وتحليل مرآة التيار الأساسية باستخدام ترانزستورات مصممة بتقنية أنابيب الكربون النانوية (CNTFET)

لمرآة التيار الأساسية وذلك من ناحية طول القناة (32 nm, 22 nm, 16 nm, 10 nm) تم دراسة تأثير بارامترات الترانزستورات المذكورة سابقا على أداء مرآيا التيار الأساسية وهذه بعض من النتائج التي تم التوصل اليها.

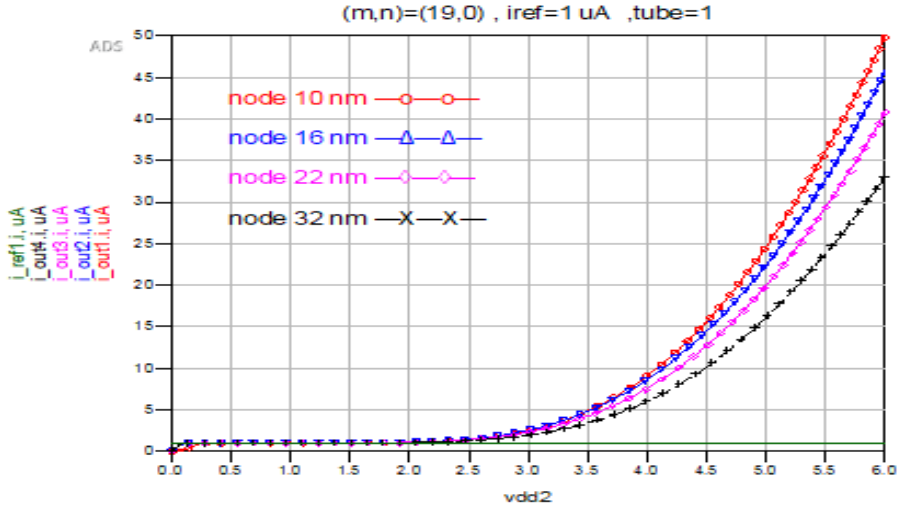


الشكل (16) تصميم مرآة التيار الأساسية باستخدام البرنامج ADS

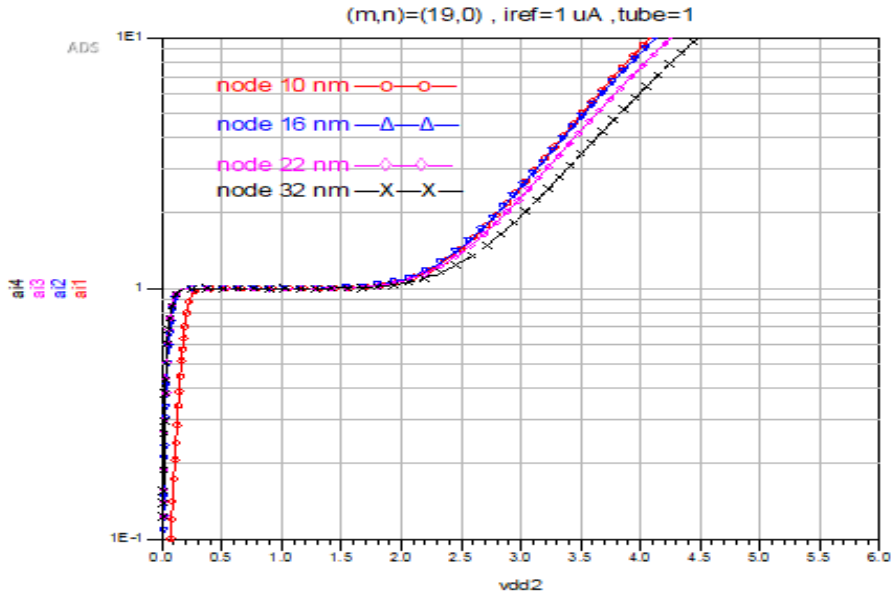
7-1 محاكاة تأثير $chirality(n,m)$ على تيار الخرج وتضخيم التيار لمرآة التيار

كافة نتائج المحاكاة في هذا القسم تمت من خلال المقارنة بين التقنيات الأربعة (32 nm, 22 nm, 16 nm, 10 nm) لمرآة التيار البسيطة، وذلك من أجل أنبوب نانوي واحد وتيار مرجعي 1 uA وذلك عندما يتغير جهد التغذية من 0 إلى 6V.

يبين الشكل (17) علاقة تيار الخرج بدلالة الجهد V_{DS} ويبين الشكل (18) علاقة تضخيم التيار بدلالة الجهد V_{DS} وذلك للنمط $chirality(m,n) = (19,0)$.



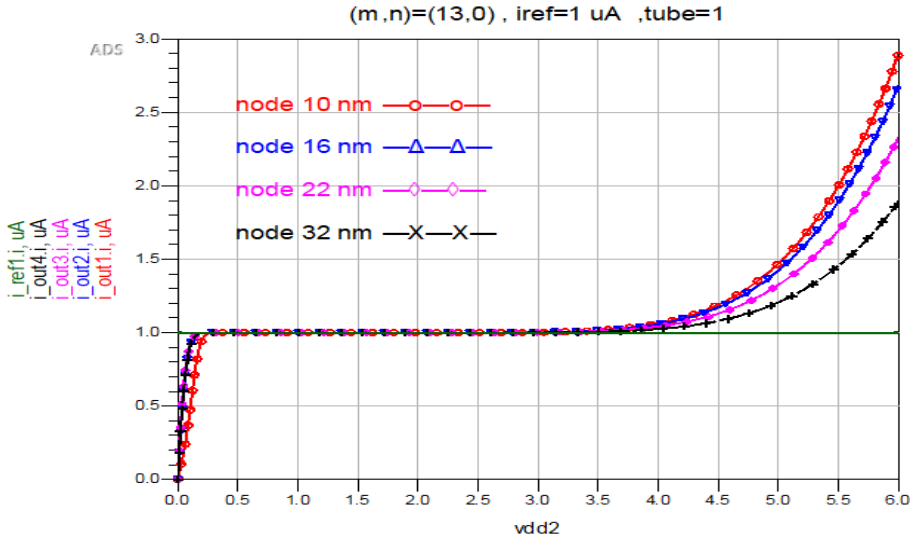
الشكل (17) علاقة تيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (19,0)



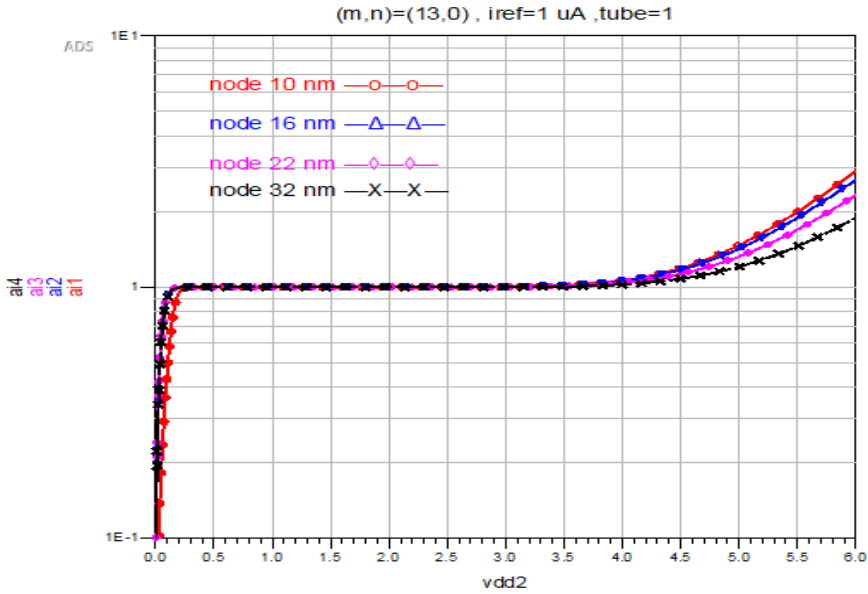
الشكل (18) علاقة تضخيم التيار بدلالة V_{DS} للنمط (19,0)

يبين الشكل (19) علاقة تيار الخرج بدلالة الجهد V_{DS} والشكل (20) علاقة تضخيم التيار بدلالة الجهد V_{DS} وذلك للنمط (13,0) $.chirality (m,n) = (13,0)$.

دراسة وتحليل مرآة التيار الأساسية باستخدام ترانزستورات مصممة بتقنية أنابيب الكربون النانوية (CNTFET)

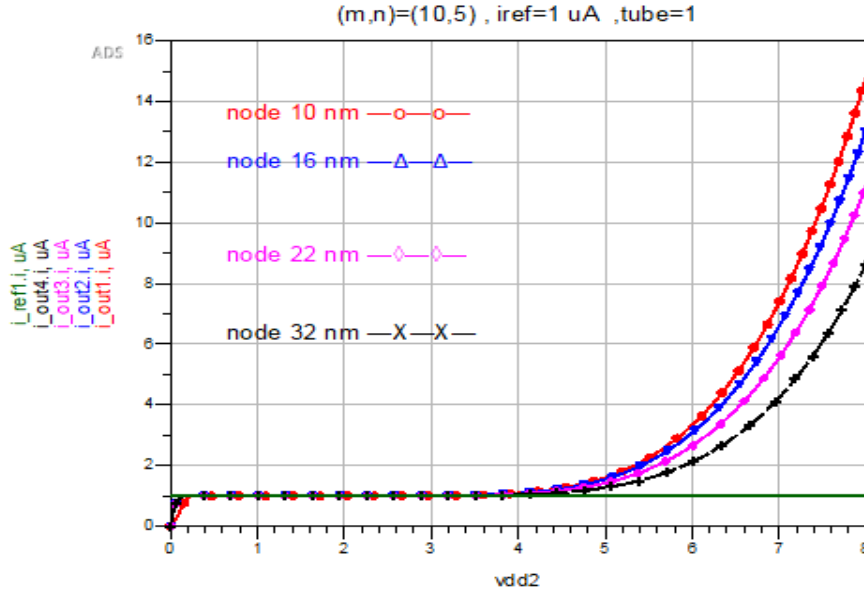


الشكل (19) علاقة تيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (13,0)

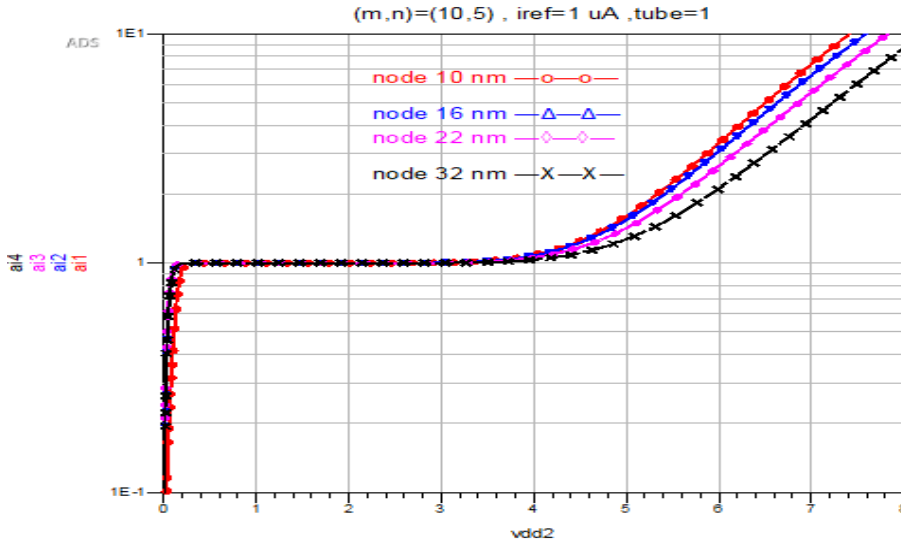


الشكل (20) علاقة تضخيم التيار بدلالة V_{DS} للنمط (13,0)

يبين الشكل (21) علاقة تيار الخرج بدلالة الجهد V_{DS} ويبين الشكل (22) علاقة تضخيم التيار بدلالة الجهد V_{DS} وذلك من أجل النمط $(m,n) = (10,5)$.chirality



الشكل (21) علاقة تيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (10,5)



الشكل (22) علاقة تضخيم التيار بدلالة V_{DS} للنمط (10,5)

يبين الجدول (2) ملخص نتائج المحاكاة التي من أجلها يكون تضخيم التيار مساويا للواحد في التقنيات الأربعة، ومن أجل أنماط مختلفة حيث نستنتج أن النمط (13,0) هو

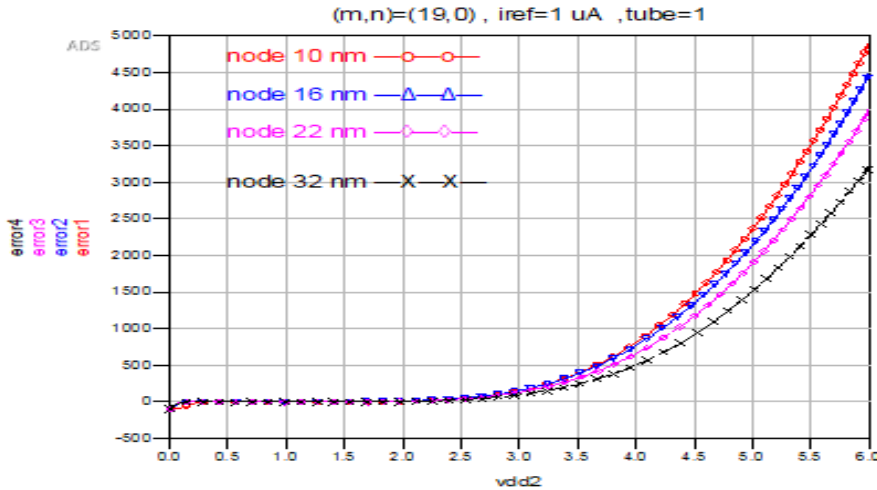
أفضل نمط من النوع zigzag حيث يتراوح ثبات التضخيم فيه من قيمة التغذية 0.3v وحتى 3.8v. وكذلك نستنتج أن النمط (10,5) هو أفضل نمط من النوع chiral وتتطابق نتائجه تقريبا مع نتائج النمط (13,0).

الجدول (3) علاقة تضخيم التيار بدلالة chirality وجهد التغذية V_{DS}

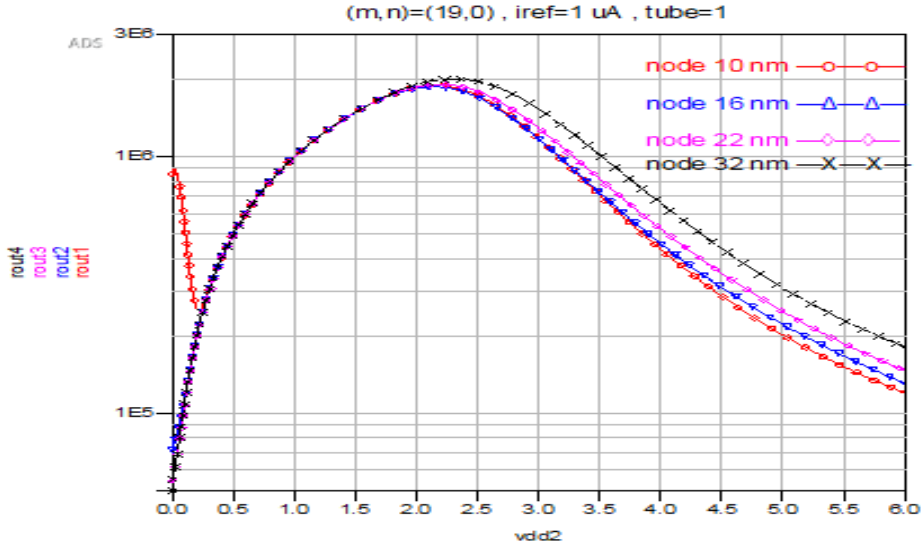
| تضخيم التيار | مجال التغذية من أجل تضخيم واحد (v) | chirality (n, m) |
|--------------|------------------------------------|------------------|
| 1 | 0.4-1.5 | (19,0) |
| 1 | 0.3-3.8 | (13,0) |
| 1 | 0.2-3.8 | (10,5) |

7-2 تأثير chirality على الخطأ المئوي لتيار الخرج وعلى مقاومة الخرج لمرآة التيار

كافة نتائج المحاكاة في هذا القسم تمت من خلال المقارنة بين التقنيات الأربعة (32 nm, 22 nm, 16 nm, 10 nm) لمرآة التيار البسيطة، وذلك من أجل أنبوب نانوي واحد وتيار مرجعي 1 uA وذلك عندما يتغير جهد التغذية من 0 إلى 6V. يبين الشكل (23) علاقة مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة الجهد V_{DS} ويبين الشكل (24) علاقة مقاومة الخرج بدلالة الجهد V_{DS} للنمط (19,0).

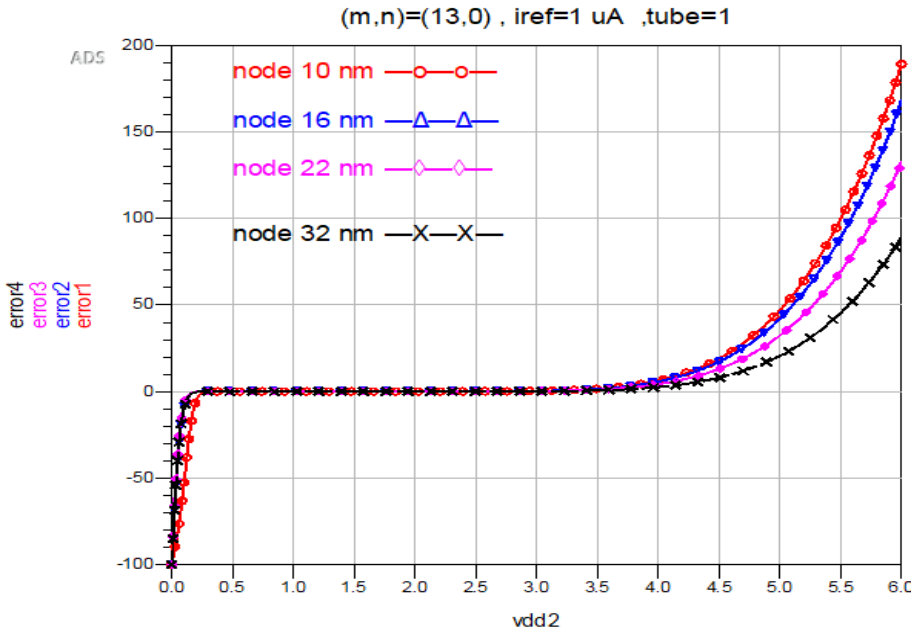


الشكل (23) علاقة مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (19,0)



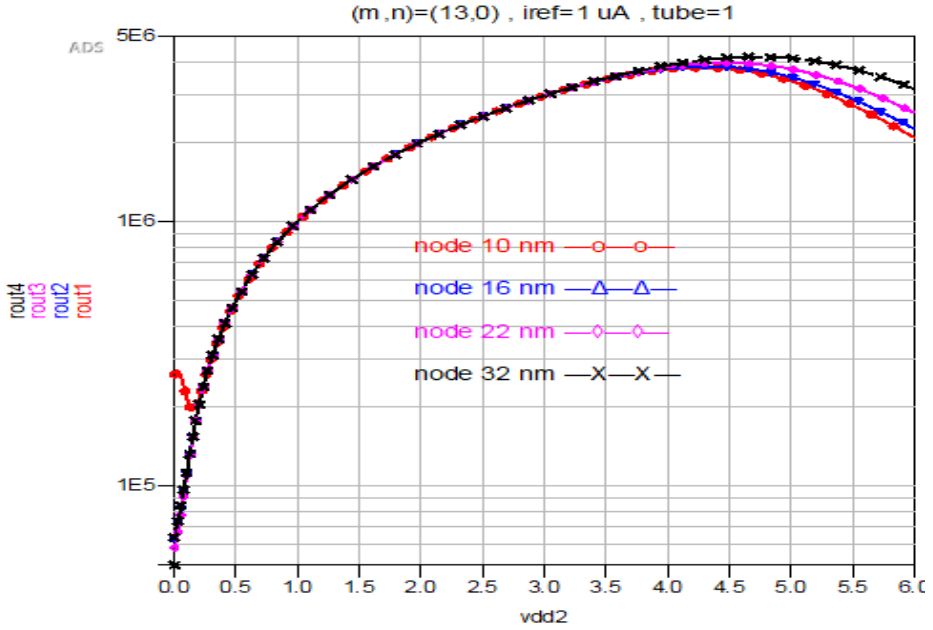
الشكل (24) علاقة مقاومة الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (19,0)

يبين الشكل (25) علاقة مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة الجهد V_{DS} ويبين الشكل (26) علاقة مقاومة الخرج بدلالة الجهد V_{DS} للنمط (13,0).



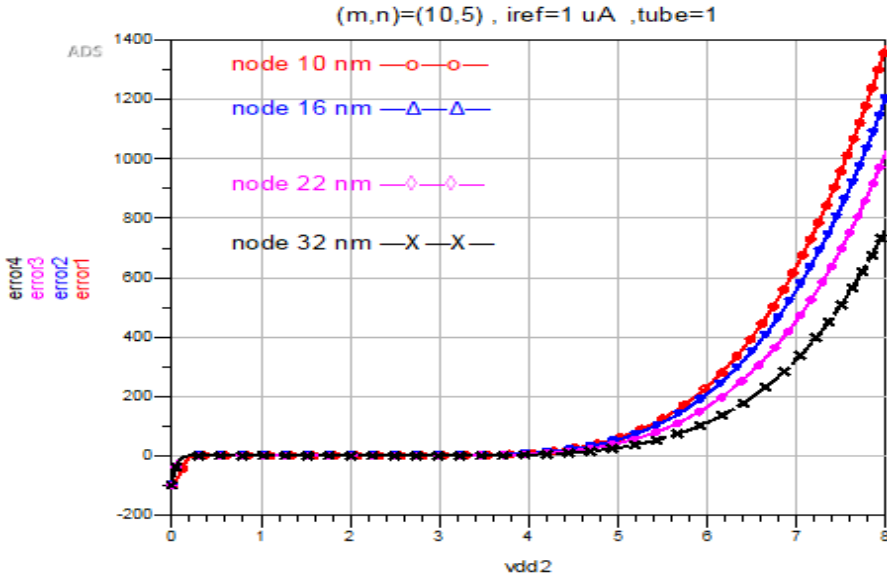
الشكل (25) علاقة مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (13,0)

دراسة وتحليل مرآة التيار الأساسية باستخدام ترانزستورات مصممة بتقنية أنابيب الكربون النانوية (CNTFET)

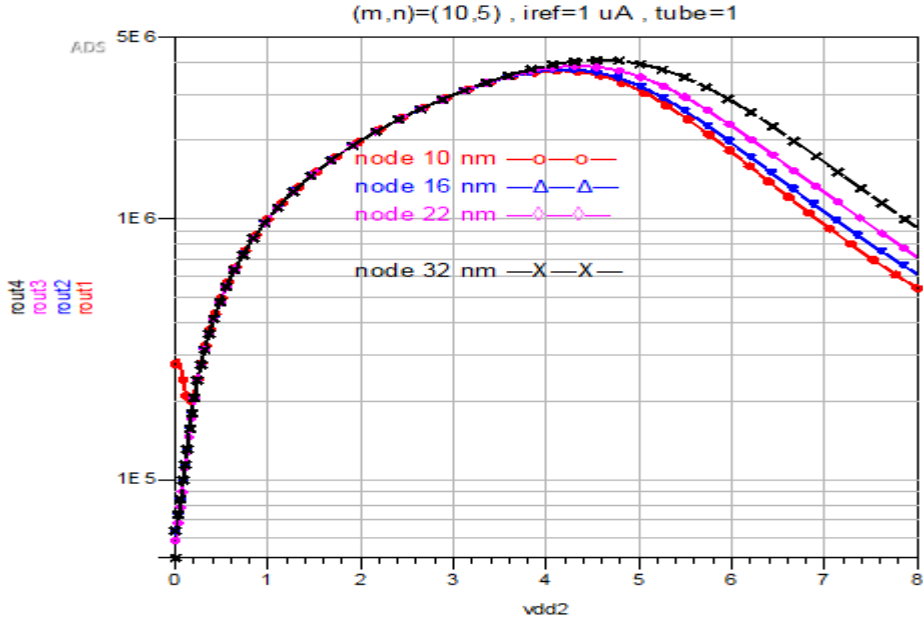


الشكل (26) علاقة مقاومة الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (13,0)

يبين الشكل (27) علاقة مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة الجهد V_{DS} ويبين الشكل (28) علاقة مقاومة الخرج بدلالة الجهد V_{DS} للنمط (10,5).



الشكل (27) علاقة مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (10,5)



الشكل (28) علاقة مقاومة الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (10,5)

يبين الجدول (4) تأثير chirality على خطأ التيار error وعلى مقاومة الخرج

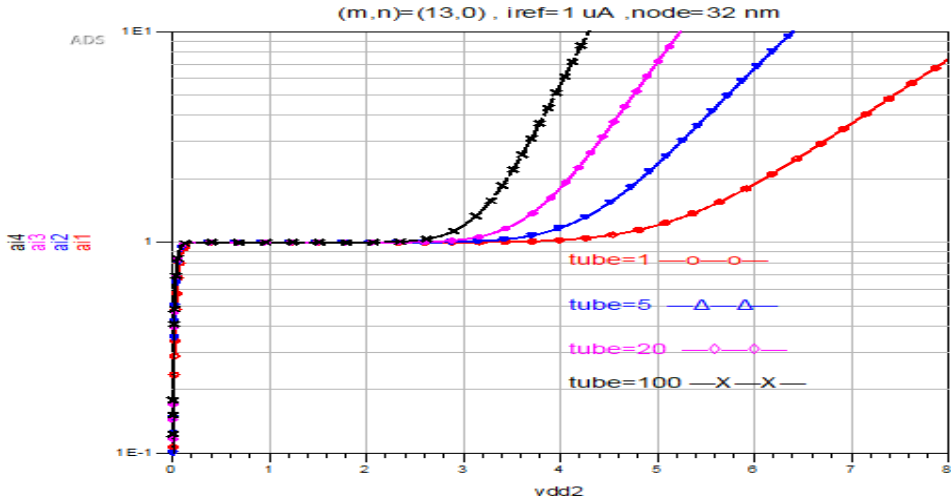
الجدول (4) تأثير chirality على error ومقاومة الخرج

| مقاومة الخرج الأعظمية MQ | error | مجال الجهد | chirality |
|--------------------------|--------|------------|-----------|
| 2 عند جهد 2.4v | 0 | 0.2-2.4v | (19,0) |
| مرفوضة بسبب error الكبير | 0-5000 | 2.4-6v | zigzag |
| 3.9 عند جهد 4.1v | 0 | 0.2-4.1v | (13,0) |
| مرفوضة بسبب error الكبير | 0-100 | 4.1-6v | zigzag |
| 4 عند جهد 4.6v | 0 | 0.2-4.6v | (10,5) |
| مرفوضة بسبب error الكبير | 0-220 | 4.6-6v | chiral |

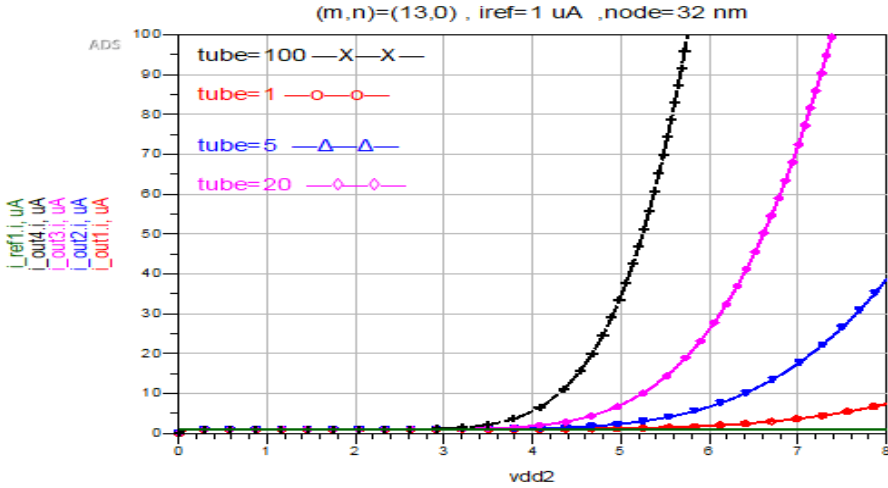
حيث نستنتج أننا حصلنا على أفضل مقاومة خرج في النمط (13,0) من النوع zigzag وقدرها $3.9 \text{ M}\Omega$ عند الجهد 4.1 v وبنسبة خطأ صفري، وكذلك حصلنا على أفضل مقاومة خرج للنمط (10,5) في النوع chiral وقدرها $4 \text{ M}\Omega$ عند الجهد 4.6 v وبنسبة خطأ صفري للتيار.

3-7 محاكاة تأثير عدد الانابيب النانوية على مرآة التيار

تم في هذا القسم دراسة تأثير عدد الأنابيب النانوية على مرآة التيار الأساسية، حيث تمت المقارنة عند استخدام أنبوب نانوي وخمسة أنابيب وعشرون أنبوب ومئة أنبوب، وذلك عند تيار مرجعي 1 uA وللنمط $(m,n) = (13,0)$ من النوع Zigzag وللتقنية 32 nm ، يبين الشكل (29) علاقة تضخيم التيار بدلالة الجهد V_{DS} ، والشكل (30) علاقة تيار الخرج بدلالة الجهد V_{DS} وذلك باستخدام عدد أنابيب مختلفة.

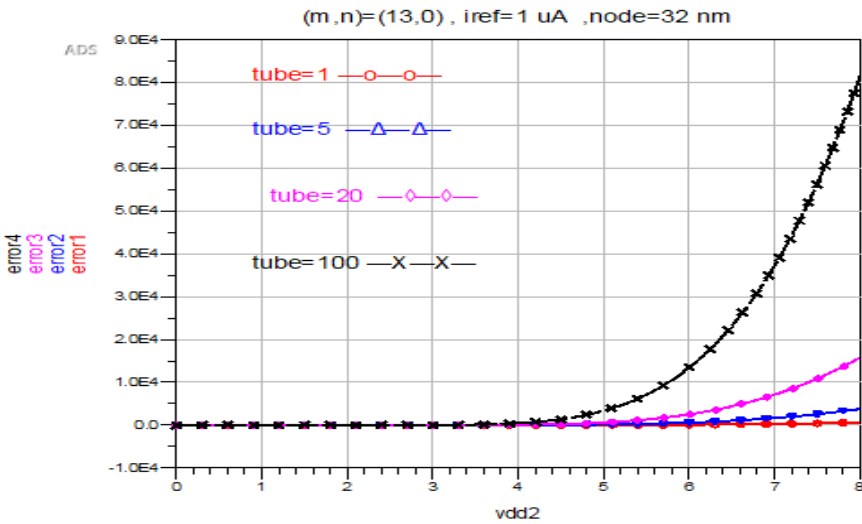


الشكل (29) علاقة تضخيم التيار بدلالة V_{DS} للنمط (13,0) تقنية 32 nm



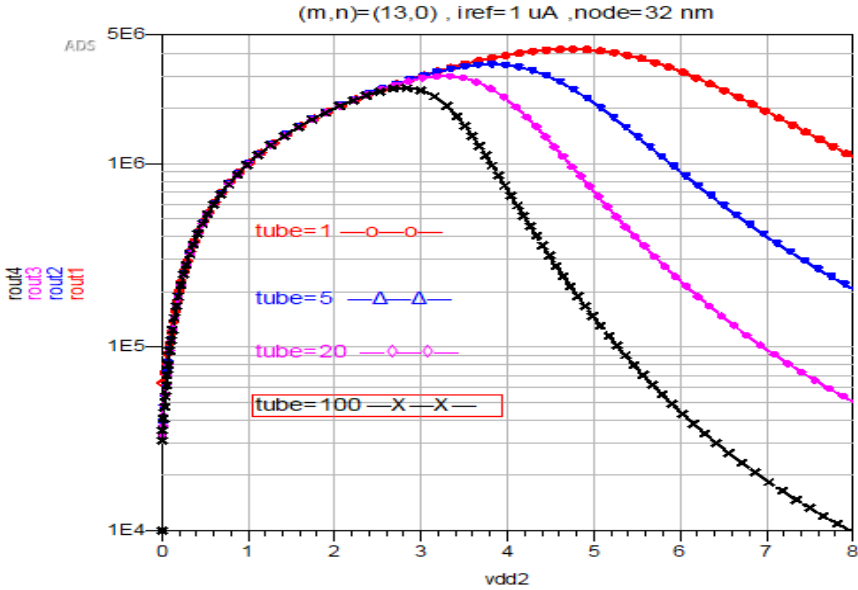
الشكل (30) علاقة تيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (13,0) تقنية 32 nm

ويبين الشكل (31) علاقة مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة V_{DS} ، والشكل (32) علاقة مقاومة الخرج بدلالة الجهد V_{DS} .



الشكل (31) مقدار الخطأ المئوي لتيار الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (13,0) تقنية 32 nm

دراسة وتحليل مرآة التيار الأساسية باستخدام ترانزستورات مصممة بتقنية أنابيب الكربون النانوية (CNTFET)



الشكل (32) علاقة مقاومة الخرج بدلالة V_{DS} للنمط (13,0) تقنية 32 nm

يبين الجدول (5) نتائج محاكاة تأثير عدد الأنابيب النانوية على أداء مرآة التيار

الجدول (5) نتائج محاكاة تأثير عدد الأنابيب النانوية على أداء مرآة التيار

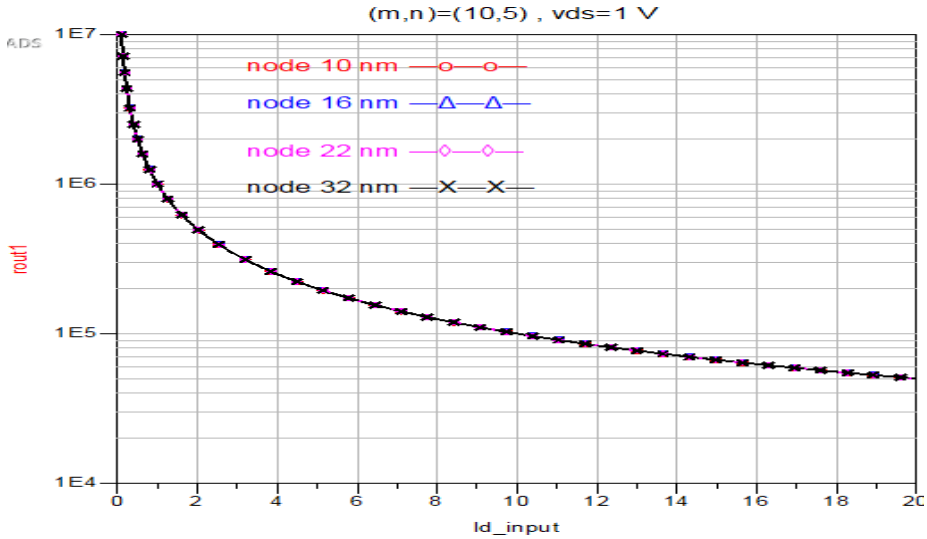
| عدد الأنابيب | مجال الجهد (v) | تضخيم التيار | مقاومة الخرج الأعظمية MQ |
|--------------|----------------|--------------|--------------------------|
| أنبوب واحد | 0-2.6 | 1 | 2.5 عند جهد 2.6v |
| | 2.6-4.2 | 1 | 4 عند جهد 4.2v |
| | 4.2-8 | 8 | 4.2 عند جهد 4.6v |
| 5 أنابيب | 0-2.6 | 1 | 2.5 عند جهد 2.6v |
| | 2.6-3.2 | 1 | 3 عند جهد 3.2v |
| | 3.2-8 | >10 | 3.5 عند جهد 3.8v |
| 100 أنبوب | 0-2.6 | 1 | 2.5 عند جهد 2.6v |
| | 2.6-8 | >100 | 2.6 عند جهد 2.8v |

نلاحظ من النتائج انه من أجل جهود تغذية 0v وحتى 2.6v فإن المنحنيات جميعها متطابقة، أي أن عدد الأنابيب النانوية ضمن هذا المجال لا تأثير له على مرآة التيار، كما نلاحظ أنه ضمن المجال 2.6v وحتى 4.2v وعند استخدام أنبوب نانوي واحد حصلنا على تضخيم تيار قيمته واحد وكان تيار الخرج مساو لتيار الدخل، بينما عند استخدام مئة أنبوب نانوي وصل تضخيم التيار ضمن هذا المجال الى القيمة 100 وما فوق وهذا مرفوض في مرآة التيار.

نستنتج أن استخدام أنبوب نانوي واحد في مرآة التيار أفضل من استخدام عدة أنابيب نانوية وذلك عند استخدام أنماط مختلفة ل (m,n)، وذلك من ناحية مجال التغذية الممكن تشغيل المرآة عندها وكذلك من ناحية مقاومة الخرج الأعظمية حيث بلغت هذه المقاومة 4 MΩ عند جهد 4.2v ومن أجل عامل تضخيم واحد وكذلك من ناحية الكلفة المادية.

4-7 محاكاة تأثير التيار المرجعي

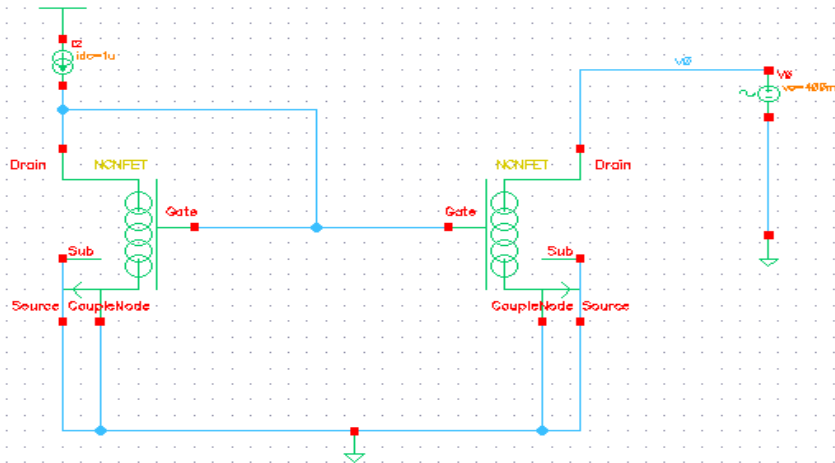
تم دراسة تأثير التيار المرجعي على مرآة التيار الأساسية، وذلك للنمط chirality (10,5) من النوع chiral، يبين الشكل (33) علاقة مقاومة الخرج للتقنيات الأربعة عند جهد $V_{DS}=1\text{ V}$ بدلالة التيار المرجعي، نلاحظ كلما ازداد التيار المرجعي نقصت مقاومة الخرج للتقنيات الأربعة.



الشكل (33) علاقة مقاومة الخرج عند جهد $V_{DS}=1\text{ V}$ بدلالة I_{ref}

8- محاكاة مقاومة الخرج الديناميكية (المتناوية)

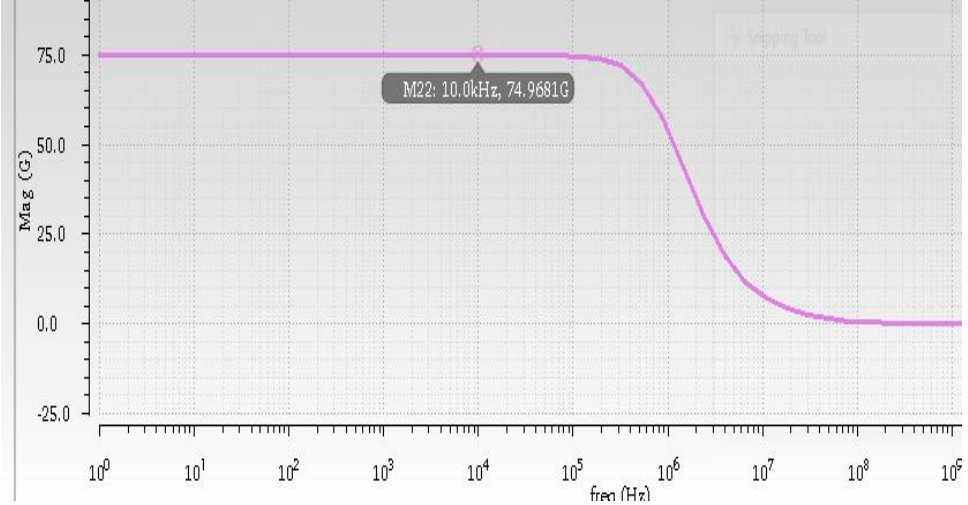
تم تصميم مرآة التيار الأساسية باستخدام برنامج cadence VMware Workstation وفق نموذج Stanford بالاعتماد على لغة البرمجة Verilog A يبين الشكل (34) تصميم مرآة التيار الأساسية وفق نموذج ستانفورد.



الشكل (34) تصميم مرآة التيار الأساسية وفق نموذج ستانفورد.

تم هنا دراسة مقاومة الخرج الديناميكية بدلالة التردد من أجل أنماط مختلفة للأنايبب النانوية عند جهود تغذية مختلفة.

يبين الشكل (35) علاقة مقاومة الخرج الديناميكية بدلالة التردد من أجل أنبوب نانوي (13,0) ومن أجل جهد $V_{DS}=0.4V$ من أجل تقنية 32nm.



الشكل (35) علاقة مقاومة الخرج الديناميكية بدلالة التردد من أجل أنبوب نانوي (13,0)

يبين الجدول (6) ملخص للنتائج التي تم الحصول عليها

الجدول (6) المقاومة الديناميكية وعرض المجال الترددي بدلالة chirality

| عرض المجال الترددي | المقاومة المتناوبة | الجهد V_{DS} | chirality |
|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| 30 MHz | 1.566 G Ω | 0.3v | 32 nm تقنية (13,0) |
| 1 MHz | 74 GHz | 0.4v | 32 nm تقنية (13,0) |
| 10 GHz | 34.77 M Ω | 0.3v | 10 nm تقنية (13,0) |

9- ملخص الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث دراسة وتحليل أداء مرآة التيار الأساسية باستخدام الترانزستورات الحقلية المصنعة من أنابيب النانو الكربونية CNTFET وذلك بعد دراسة مميزات الفولت أمبير لهذه الترانزستورات ودراسة فجوة الطاقة لها، وقد تمت مقارنة الأداء باستخدام أربع تقنيات من طول القناة وهي تقنية 32 nm وتقنية 22 nm وتقنية 16 nm وتقنية 10nm، حيث تم دراسة تأثير دليلي الانبوب النانوي $chirality(n,m)$ على أداء مرآة التيار الأساسية ونبين فيما يلي هذه النتائج مقارنة مع نتائج المرجع [15].

| تضخيم التيار | مجال التغذية من أجل تضخيم واحد (v) | chirality (n, m) |
|--------------|------------------------------------|------------------|
| 1 | 0.3-3.8 | zigzag (13,0) |
| 1 | 0.2-3.8 | Chiral (10,5) |
| 1[11] | 0.2-1.5[11] | (19,0) [15] |

كما تمت دراسة تأثير chirality على كل من خطأ التيار ومقاومة الخرج الساكنة وهذه أفضل النتائج التي حصلنا عليها من أجل التقنيات الأربعة مقارنة مع المرجع [16].

| مقاومة الخرج الأعظمية $M\Omega$ | error | مجال الجهد (v) | chirality (n, m) |
|---------------------------------|-------|----------------|------------------|
| 3.9 عند جهد 4.1v | 0 | 0.2-4.1 | (13,0) zigzag |
| 4 عند جهد 4.6v | 0 | 0.2-4.6 | (10,5) chiral |
| 1.07[12] عند جهد 1v | 0.01 | | (19,0) [16] |

كما تمت دراسة تأثير عدد الأنابيب النانوية على مرآة التيار واستنتجنا أن استخدام أنبوب نانوي واحد أفضل من استخدام عدة أنابيب حيث وصلت مقاومة الخرج العظمى لأنبوب واحد إلى 4 $M\Omega$ من أجل تضخيم واحد عند جهد تغذية 4.2v، في حين لم تتجاوز مقاومة الخرج القيمة 2.5 $M\Omega$ عند استخدام مئة أنبوب نانوي وذلك عند جهد تغذية 2.6v

| عدد الأنابيب | مجال الجهد (v) | تضخيم التيار | مقاومة الخرج الأعظمية MQ |
|--------------|----------------|--------------|--------------------------|
| أنبوب واحد | 0.2-4.2 | 1 | 4 عند جهد 4.2v |
| 100 أنبوب | 0.2-2.6 | 1 | 2.5 عند جهد 2.6v |

كما تمت دراسة مقاومة الخرج المتناوبة وحصلنا على مقاومة خرج قدرها 74 GHz عند جهد تغذية 0.4v وذلك للنمط (13,0) بطول قناة 32 nm.

كنتيجة يمكن تلخيص ما سبق ذكره بأنه: يجب اختيار بارامترات الترانزستورات CNTFET التي تدخل في تصميم مرآة التيار بعناية وذلك من ناحية chirality وطول القناة وعدد الأنابيب النانوية وجهد التغذية والتيار المرجعي لأن لذلك تأثير كبير على مرآة التيار من حيث مقاومة الخرج وعرض المجال الترددي وكذلك على الخطأ المئوي للتيار وتضخيم التيار.

المراجع العلمية: REFERENCES

- [1] Jaspreet Kaur , **Layout and Analysis of different Current Mirror using 45nm Technology**, International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and communication, IJRITCC | January 2017, .
- [2] T. Dürkop, T. Brintlinger, and M.S. Fuhrer, **-Nanotubes are high mobility semiconductors. In Structural and Electronic Properties of Molecular Nanostructures.** AIP Conference Proceedings, pages 242–246, 2002.
- [3] م. خضر بشور، د. مجد الدين العلي، د. عيد العبود **محاكاة البارامترات التي تؤثر على سلوك ترانزستورات الأثر الحقلية المصنعة من الأنابيب النانوية،** مجلة جامعة البعث، المجلد رقم /40/
- [4] Veski Dabas, Surender Kumar Grewal, **-To Design a Low Power CNTFET Based XOR Gate.** Deenbandhu Chhottu Ram University of Science and Technology, Murthal, Haryana, India, Journal of VLSI Design Tools & Technology, ISSN: 2321-6492 (Print) Volume 8, Issue 1, 2018.
- [5] Nikita Gupta, Shipra Mital Gupta & S. K. Sharma. **Carbon nanotubes: synthesis, properties and engineering applications**, Carbon Letters volume 29, pages419–447 (2019).
- [6] Philippe Serp; Bruno Machado, **Nanostructured Carbon Materials for Catalysis** DOI: <https://doi.org/10.1039/9781782622567> ,Special Collection: 2015.

- [7] R. Saito ،G. Dresselhaus ،and M.S. Dresselhaus, -**Physical Properties of Carbon Nanotubes**. Imperial College Press ، London1 ،st edition1998 .
- [8] Boyang Huang,Nanyang Technological University, **Carbon nanotubes and their polymeric composites**: the applications in tissue engineering Springer October 2020 Biomanufacturing Reviews 5(1).
- [9] Hasina F. Huq, Bashirul Polash, Oscar Machado and Nora Espinoza, - **Study of Carbon Nanotube Field Effect Transistors for NEMS**—The University of Texas-Pan American, USA, 2017.
- [10] Akshay Verma1, Harshul Gupta, Nitin Chaturvedi, - **Analysis of the Operational Characteristics of CNTFET**— Birla Institute of Technology and Science, Pilani, Rajasthan, India, International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, ISSN: 2319-7463, 2014.
- [11] Aris Chatzichristos, Jamal Hassan, Current **Understanding of Water Properties inside Carbon Nanotubes**, Nanomaterials 2022, 12(1), 174; <https://doi.org/10.3390/nano12010174>.

[12] م. خضر بشور، د. مجد الدين العلي، د. عيد العبود دراسة تأثير تغير

معاملات التوجيه الأنابيب النانوي على خصائصه ، مجلة جامعة البعث، المجلد

رقم ./41/

- [13] R. Saito, G. Dresselhaus, and M.S. Dresselhaus, **-Physical Properties of Carbon Nanotubes— Imperial** College Press, London, 1st edition, 1998.
- [14] Albert Lin, Gordon Wan, Jie Deng, and Prof. H-S Philip Wong, **Stanford University Carbon Nanotube Field Effect Transistors (CNFET) VerilogA Model v. 2.1.1,** <http://nano.stanford.edu/license.php>
- [15] Roberto Marani¹, * and Anna Gina Perri², **COMPARISON OF CNTFET AND MOSFET NOISE PERFORMANCE THROUGH THE DESIGN OF BASIC CURRENT MIRROR** IJRRAS 46 (1) Jan-Mar. 2021.
- [16] Roberto Marani* and Anna Gina Perri** **A COMPARATIVE STUDY OF CNTFET AND MOSFET DEVICES THROUGH THE DESIGN OF CURRENT MIRRORS** International Journal of Advances in Engineering & Technology, August, 2020.IJAET ISSN: 22311963.

نمذجة وتحليل البيانات الطبية الضخمة في بيئة الحوسبة السحابية

الباحث المهندس: شادي علي بليدي
كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة دمشق

ملخص:

إن الانخفاض الكبير في تكلفة خدمات الرعاية الصحية، واستخدام الموارد، وقابلية الصيانة واعتماد التقنيات الجديدة، هي بعض الفوائد التي يمكن لمراكز الرعاية الصحية والمستشفيات الحصول عليها من نظام المعلومات الطبية القائم على السحابة. كما أن الطبيعة المعقدة والموزعة والمتعددة التخصصات للبيانات الطبية فرضت وجود قيود على إمكانيات تحليل البيانات بالطرق التقليدية الخاصة بالوصول إلى البيانات وتخزينها ومعالجتها وتحليلها وتوزيعها ومشاركتها. وبالتالي أصبحت التقنيات الجديدة والفعالة ضرورية للحصول على ثروة المعلومات والمعرفة التي تقوم عليها البيانات الطبية الضخمة. تعد تحليلات البيانات الضخمة مجال نمو له القدرة على توفير رؤية مفيدة في نظام المعلومات الصحية. يمكن للبيانات الضخمة توحيد جميع البيانات المتعلقة بالمرضى للحصول على المزيد من الخيارات لعرض سجلات المرضى لتحليل وتوقع اكتشاف المرض المبكر. البيانات الضخمة تدعم وتحسن الممارسات السريرية، وتطوير الأدوية الجديدة وعملية تمويل الرعاية الصحية. يقترح هذا البحث وبناقش نموذجاً لتحليل البيانات الطبية الضخمة في بيئة الحوسبة السحابية، من خلال دراسة وظائف Hadoop المختلفة، وإجراء تحليلات البيانات على مجموعة بيانات الرعاية الصحية باستخدام تقنياته المختلفة.

كلمات مفتاحية: الحوسبة السحابية ، البيانات الطبية الضخمة ، Hadoop ،
MapReduce ، Hive.

Modeling and analyzing big medical data in a cloud computing environment

Eng: Shadi A. Blidi

Abstract

The drastic reduction in the cost of healthcare services, utilization of resources, maintainability and the adoption of new technologies are some of the benefits that healthcare centers and hospitals can get from cloud-based medical information system.

The complex, distributed, and highly interdisciplinary nature of medical data has underscored the limitations of traditional data analysis capabilities of data accessing, storage, processing, analyzing, distributing, and sharing. New and efficient technologies are becoming necessary to obtain the wealth of information and knowledge underlying medical Big Data. Big data analytics is a growth area with the potential to provide useful insight in health information system. Big Data can unify all patient related data to get more option to view patient records to analyze and predict early disease detection. Big data supports and improve clinical practices, new drug development and health care financing process.

This research proposes and discusses a model of analyzing medical Big Data in a cloud computing environment, by studying different Hadoop functionalities in details and perform data analytics on a health care data set using Hadoop.

Keywords: cloud computing, Medical big data, Hadoop, MapReduce, Hive.

1- مقدمة:

التحدي الحاسم الذي تواجهه مؤسسات الرعاية الصحية هو تحليل البيانات الطبية المتضخمة على نطاق واسع. حيث أنه مع النمو السريع لتطبيقات الرعاية الصحية المختلفة، تولد الأجهزة المختلفة المستخدمة في الرعاية الصحية أنواعًا مختلفة من البيانات. وبالتالي يجب معالجة البيانات وتحليلها بفعالية من أجل اتخاذ قرارات أفضل.

يحتاج مزودو الرعاية الصحية في جميع أنحاء العالم إلى الحصول على معلومات في الوقت الحقيقي لتوفير رعاية صحية جيدة. لذلك يسعون لاستخدام تطبيقات البرمجيات كخدمة تقدمها معظم مزودي الخدمات السحابية. ونظرًا لأن معلومات الرعاية الصحية سرية وتوفر رعاية صحية ذات جودة أفضل، يجب على مختلف أصحاب المصلحة تبادل معلومات المرضى والمعلومات السريرية بطريقة آمنة.

تتوفر بيانات الرعاية الصحية حتى الآن في شكل سجلات طبية إلكترونية (EMR) وسجلات صحية إلكترونية (EHR) وسجلات المرضى الطبية (PMR). وبالتالي فإن جمع السجلات الطبية الرقمية على مدى فترة من الزمن سيؤدي إنشاء مجموعات البيانات الضخمة. البيانات الطبية الضخمة الناتجة عن مجموعات الرعاية الصحية تحتاج إلى التحليل الفعال ومحاولة حل المشكلات المختلفة التي تواجهها [1].

إن الرعاية الصحية الجيدة، وتخفيض التكلفة الطبية، وكفاءة اتخاذ القرارات لتوفير الرعاية الصحية المناسبة، وإيجاد أنماط لعمليات إعادة الإدخال غير الضرورية للمستشفيات هي بعض المشكلات التي يمكن حلها بواسطة تقنية البيانات الضخمة والحوسبة السحابية. حيث يمكن تحليل قيمة جديدة من مجموعات البيانات الضخمة من خلال بناء أدوات تحليلية فعالة تساعد المرضى والأطباء وأصحاب المصلحة المختلفين في مجال الرعاية الصحية.

بما أن بيانات الرعاية الصحية متوفرة في مجموعات بيانات ضخمة وبأشكال مختلفة، فإن البيئة السحابية هي الطريقة الفعالة لتخزين ومعالجة هذه البيانات. حيث أنه يتم اليوم نشر معظم تطبيقات البرمجيات في مراكز بيانات (Data Centers). ومن أجل إجراء العمليات الحسابية المعقدة، تعد الحوسبة السحابية بمثابة بنية مهيمنة يمكنها أداء حساب البيانات على نطاق واسع بكفاءة من خلال توفير الموارد القابلة للتطوير [2].

حلت الحوسبة السحابية معظم المشكلات المتعلقة ببيانات الرعاية الصحية مثل توحيد تبادل سجلات الرعاية الصحية والخصوصية وأمان الشبكة. الأمن هو القضية الرئيسية أثناء مشاركة بيانات الرعاية الصحية في السحب الالكترونية [2].

يعمل إطار Hadoop على حل معظم المشكلات المتعلقة بمعالجة البيانات الضخمة. MapReduce هو نموذج الحوسبة المستخدمة في Hadoop لأنه يوفر نظام الملفات الموزعة (Hadoop HDFS) الذي يخزن البيانات على العقد. تحتاج مجموعات بيانات الرعاية الصحية إلى التحليل على مجموعات (Hadoop Clusters) في بيئة الحوسبة السحابية لحل مختلف القضايا في صناعة الرعاية الصحية [3].

2- أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى الاستفادة من تقنيات تكنولوجيا المعلومات الحديثة في تطوير نموذج سحابي لإدارة وتحليل المعلومات الطبية الضخمة، بما يساهم في تقديم الخدمات الطبية والتحليلات المتعلقة بها بالسرعة المناسبة، وبما يضمن مساعدة المجتمع الطبي للوصول إلى الحلول المثلى ما أمكن في التشخيص والعلاج.

يمكن تصنيف أهداف البحث في العديد من الجوانب:

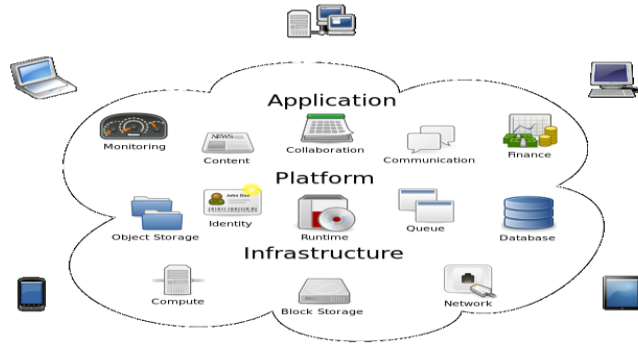
- استعراض ومراجعة مفاهيم ومنهجيات العمل الحالي في استخدام تقنيات البيانات الضخمة والحوسبة السحابية في مجال الرعاية الصحية بشكل عام، واقتراح مزيد من التطوير في هذا المجال.
- استعراض التحديات المرتبطة باعتماد تقنيات البيانات الضخمة والحوسبة السحابية في إدارة الرعاية والبحوث الصحية واستكشاف الحلول المناسبة.
- بالإضافة إلى تطوير وتقديم نموذج بنية نظام معلومات طبية معتمد على تقنيات البيانات الضخمة وتكنولوجيا الحوسبة السحابية للوصول إلى نظام معلومات طبي سحابي شامل يساهم في تطوير تحليل البيانات الطبية الضخمة وضمان جودة نتائجها.

3- مواد وطرق البحث:

3-1- الحوسبة السحابية (Cloud Computing)

الحوسبة السحابية هي مصطلح يشير إلى المصادر والأنظمة الحاسوبية المتوفرة تحت الطلب عبر شبكة الويب، والتي تستطيع توفير عدد من الخدمات الحاسوبية المتكاملة دون التقيد بالموارد المحلية بهدف التيسير على المستخدم. وتشمل تلك الموارد مساحة لتخزين البيانات والنسخ الاحتياطي والمزامنة الذاتية، كما تشمل قدرات معالجة برمجية وجدولة للمهام والبريد الإلكتروني والطباعة عن بعد. ويستطيع المستخدم عند اتصاله بالشبكة التحكم في هذه الموارد عن طريق واجهة برمجية بسيطة تبسط العمل وتتجاهل الكثير من التفاصيل والعمليات الداخلية [4].

و قد عرف المركز القومي للمعايير والتكنولوجيا "السحابة" على أنها: نموذج لتوفير وصول مناسب ودائم في أي وقت إلى الشبكة، لمشاركة مجموعة كبيرة من المصادر الحاسوبية والتي يمكن نشرها وتوفيرها بأدنى مجهود أو تفاعل مع موفر الخدمة [4].



الشكل (1) البنية العامة للحوسبة السحابية [5]

طبقات الحوسبة السحابية

يمكن استعراض الحوسبة السحابية على أنها مجموعة من الخدمات التي يمكن تقديمها كبنية طبقات متصلة على السحابة الإلكترونية كما يلي [5]:

- البنية التحتية كخدمة (Infrastructure as a Service – IaaS)

ويعتمد هذا النموذج في أبسط مفهوم له على مخدم افتراضي قائم على السُحُب يوفر خدمات الشبكات والتخزين وخدمات البنية التحتية الأخرى، ولا يقوم العميل بإدارة مركز البيانات. أو التحكم فيه، ولكن يمكنه التحكم في البيانات وأنظمة التشغيل.

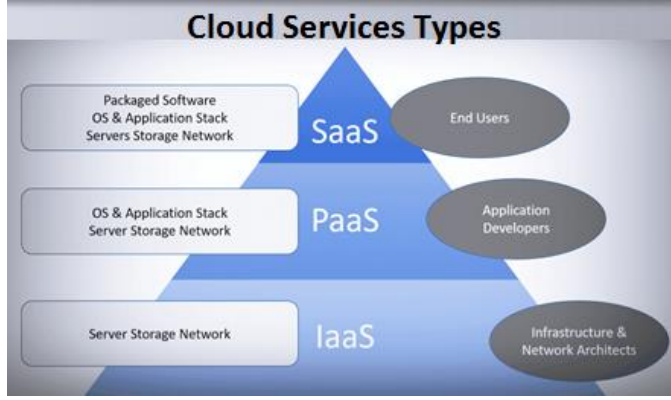
- المنصة كخدمة (Platform as a Service – PaaS)

ومن خلال هذا النموذج من الحوسبة السحابية يستطيع العملاء استعمال تطبيقاتهم على البنية التحتية لمقدم خدمات الحوسبة السحابية، وايضاً يستطيع العميل التحكم في البيانات وفي جزء من البيئة المضيفة.

- التطبيقات البرمجية كخدمة (Software as a Service – SaaS)

وفيه يستطيع العملاء النفاذ إلى تطبيقات مُقدّم خدمات الحوسبة السحابية

من خلال شبكة الإنترنت، وهو الشكل الأكثر شيوعاً لخدمات الحوسبة السحابية، وتستخدمه أغلب شبكات التواصل الاجتماعي ومقدمي خدمات البريد الإلكتروني.



الشكل (2) طبقات الحوسبة السحابية [5]

وتستخدم الحوسبة السحابية تكنولوجيا الحوسبة الافتراضية (Virtualization Technology) في نموذج "البنية التحتية كخدمة" الخاص بها، حيث أنه يساعد على توفير الطاقة والتكلفة والمساحة في مراكز البيانات. فالحوسبة الافتراضية تعد حجر الأساس في بنية السحابة.

- أنماط الحوسبة السحابية

هناك أربعة أنواع من الحوسبة السحابية [5]:

- 1- السحابة العامة (Public Cloud).
- 2- السحابة الخاصة (Private Cloud).
- 3- السحابة الهجينة (Hybrid Cloud).
- 4- السحابة المجتمعية (Community Cloud).

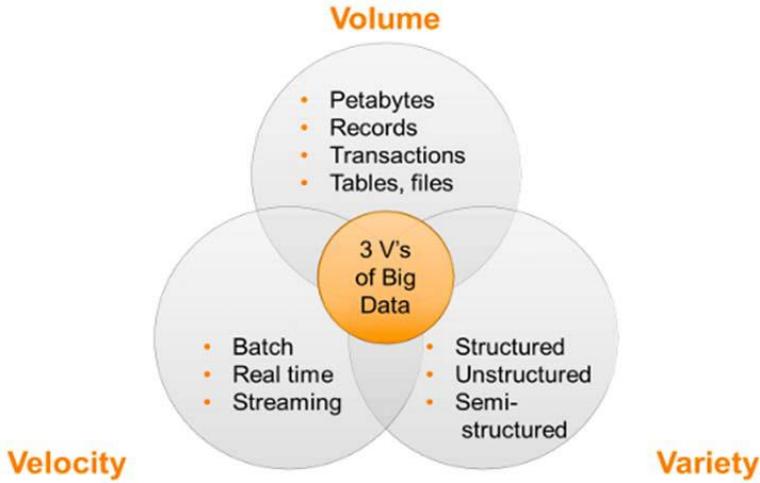
3-2- البيانات الضخمة & Hadoop

كمية البيانات التي يتم إنشاؤها كل يوم في العالم تتزايد بشكل هائل. حيث أن زيادة حجم الوسائط الرقمية والاجتماعية وانترنت الأشياء تغذيها أكثر. إن معدل نمو البيانات ينمو بشكل مذهل وتأتي هذه البيانات بسرعة، بشكل مجموعات متنوعة (غير منظمة بالضرورة) وتحتوي على ثروة من المعلومات التي يمكن أن تكون مفتاحًا لاكتساب ميزة في الشركات المتنافسة. إن القدرة على تحليل هذا الكم الهائل من البيانات أدت إلى حقبة جديدة من نمو الإنتاجية والابتكار [6].

البيانات الضخمة هي المصطلح الخاص بمجموعة من مجموعات البيانات الضخمة والمعقدة بحيث يصبح من الصعب معالجتها باستخدام أدوات إدارة قواعد البيانات التقليدية أو تطبيقات معالجة البيانات. تشمل التحديات مجالات التقاط هذه البيانات وتنظيمها وتخزينها والبحث عنها ومشاركتها ونقلها وتحليلها وتصورها.

سمات البيانات الضخمة

تُستخدم الثلاثية - الحجم والسرعة والتنوع - عادةً لوصف الجوانب المختلفة للبيانات الضخمة. تسهل هذه السمات الثلاث تحديد طبيعة البيانات ومنصات البرامج المتاحة للتحليل [7].



الشكل (3) سمات البيانات الضخمة [7]

• الحجم (Volume)

يعد الحجم هو الجانب الأكثر تحدياً للبيانات الضخمة، لأنه يفرض الحاجة إلى تخزين قابل للتطوير ونهج موزع للاستعلام. الشركات الكبيرة لديها بالفعل كمية كبيرة من البيانات التي تم تجميعها وحفظها على مر السنين. يمكن أن تكون في شكل نظام سجلات وحفظ السجلات... الخ. يصل مقدار هذه البيانات بسهولة إلى النقطة التي قد لا تتمكن فيها أنظمة إدارة قواعد البيانات التقليدية من التعامل معها.

• السرعة (Velocity)

حالياً تتدفق البيانات إلى المنظمات بسرعة كبيرة. حيث أتاحت تقنيات الويب والجوال توليد تدفق البيانات إلى مقدمي الخدمات بشكل كبير. كما أحدث التسوق عبر الإنترنت ثورة في تفاعلات المستهلك ومزود الخدمة.

• التنوع (Variety)

إن البيانات الناتجة عن الوسائط الاجتماعية والرقمية نادراً ما تكون بيانات منظمة. تدعم قواعد البيانات التقليدية "الكائنات الكبيرة" (LOB)، ولكن لها حدودها إن لم يتم توزيعها. من الصعب احتواء هذه البيانات في هياكل إدارة قواعد البيانات العلائقية التقليدية والأنيفة وليست بيانات صديقة للتكامل وتحتاج إلى الكثير من عمليات التعديل قبل أن تتمكن التطبيقات من إدارتها. وهذا يؤدي إلى فقدان المعلومات. إذا فقدت البيانات، فهذه خسارة لا يمكن استردادها.

مفهوم Hadoop

بشكل عام Hadoop مرتبط ارتباط وثيق مع البيانات الضخمة . وهو منصة برمجية مفتوحة المصدر تديرها مؤسسة (Apache Software Foundation). إنه النظام الأساسي الأكثر شهرة لتخزين وإدارة كمية هائلة من البيانات بكفاءة وفعالية من حيث التكلفة.

التعريف الرسمي لـ Hadoop من قبل Apache: هو مكتبة برامج و إطار يتيح المعالجة الموزعة لمجموعات البيانات الضخمة عبر مجموعات من أجهزة الكمبيوتر باستخدام نماذج برمجة بسيطة.

Hadoop هو إطار مفتوح المصدر من قبل Apache، وقد اخترع طريقة جديدة لتخزين ومعالجة البيانات. لا تعتمد على أجهزة عالية التكلفة وعالية الكفاءة. بدلاً من ذلك، تستفيد من فوائد المعالجة المتوازية الموزعة لكميات هائلة من البيانات عبر خوادم منخفضة التكلفة. تقوم هذه البنية الأساسية بتخزين البيانات وكذلك معالجتها، ويمكن بسهولة توسيع نطاقها حسب الاحتياجات المتغيرة. [8].

تم تصميم Hadoop للعمل على الأجهزة الموزعة ويمكن أن يرتفع أو ينخفض الأداء دون انهيار النظام. وهو يتألف من ثلاث وظائف رئيسية هي: التخزين والمعالجة وإدارة الموارد. يتم استخدامه حاليًا من قبل الشركات الكبرى مثل (Yahoo ، eBay ، Facebook ، LinkedIn) .

خصائص Hadoop

يمتلك Hadoop العديد من الميزات والخصائص التي تجعله من أهم أدوات التعامل مع البيانات الضخمة، من هذه الخصائص [9]:

- التسامح مع الخطأ: التسامح مع الخطأ هو قدرة النظام على البقاء وظيفياً دون انقطاع ودون فقدان البيانات حتى لو فشل أي من مكونات النظام. أحد الأهداف الرئيسية لـ Hadoop هو أن تكون متسامحة مع الخطأ. نظراً لأن عقود Hadoop يمكن أن تستخدم آلاف العقد التي تعمل على الأجهزة المختلفة، فإنها تصبح عرضة بدرجة كبيرة للفشل. Hadoop يحقق التسامح مع الخطأ عن طريق البيانات. ويوفر أيضاً القدرة على مراقبة المهام الجارية وإعادة تشغيل المهمة تلقائياً إذا فشلت.
- البنية التكرارية: Hadoop يكرر أساساً البيانات في كتل عبر عقد البيانات. ولضمان كل كتلة هناك كتلة احتياطية من نفس البيانات الموجودة في مكان ما عبر عقد البيانات. العقدة الرئيسية تتبع هذه العقد مع أسلوب تعيين البيانات. وفي حالة فشل أي من العقد، تتولى العقدة الأخرى التي توجد بها كتلة البيانات الاحتياطية، جعل البنية الأساسية آمنة. لدى RDBMS التقليدية نفس المخاوف ويستخدم مصطلحات مثل: المثابرة والنسخ الاحتياطي والاسترداد. هذه المخاوف تتصاعد مع البيانات الضخمة.
- Scale القياس التلقائي لأعلى / لأسفل: تعتمد Hadoop اعتماداً كبيراً على نظام الملفات الموزعة، وبالتالي فهي تأتي مع إمكانية إضافة أو حذف عدد العقد المطلوبة في الكتلة بسهولة.

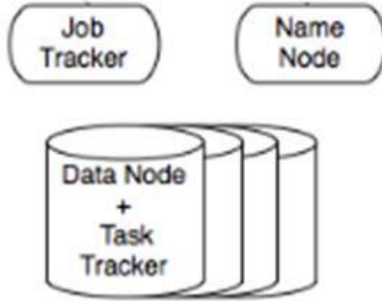
- نقل الحساب إلى البيانات: يتم تنفيذ أي استفسارات حسابية حيث توجد البيانات. هذا تجنب الحمل المطلوبة لإحضار البيانات إلى البيئة الحسابية. يتم حساب الاستعلامات بشكل متوازٍ ومحلياً، ويتم دمجها لاستكمال مجموعة النتائج.

مكونات Hadoop

فيما يلي سيتم شرح أهم المكونات الأساسية في إطار Hadoop [10]:

• نظام الملفات الموزعة في Hadoop - HDFS

HDFS هو نظام ملفات موزع مصمم للعمل على الأجهزة الاستهلاكية الرخيصة. HDFS لديه هندسة (Master/Slave). وهو أسلوب للكتابة مرة وقرءة عدة مرات.

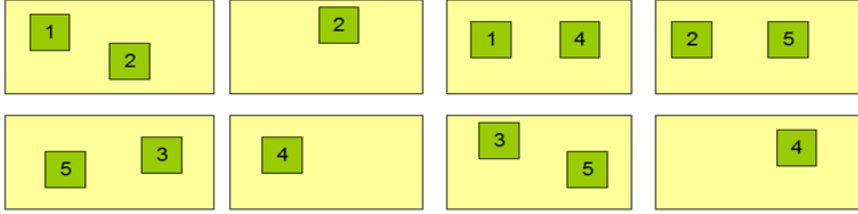


الشكل (4) تصور مبسط لعنقود Hadoop [10]

يتكون عنقود HDFS من NameNode واحد، وهو جهاز خادم رئيسي يدير نظام الملفات وينظم وصول العملاء إلى نظام الملفات. بالإضافة إلى العديد من عقد البيانات لكل عنقود. يتم تقسيم البيانات إلى كتل وتخزينها على عقد البيانات هذه. يحتفظ NameNode بخريطة توزيع البيانات. تعد نقاط البيانات مسؤولة عن عمليات قراءة وكتابة البيانات أثناء تنفيذ تحليل البيانات.

Hadoop Administrator يمكنه تحديد أجزاء البيانات التي سيتم حفظها على أي رفوف. هذا لمنع فقدان جميع البيانات في حالة فشل الحامل بأكمله وكذلك لتحسين أداء الشبكة من خلال تجنب الاضطرار إلى نقل أجزاء كبيرة

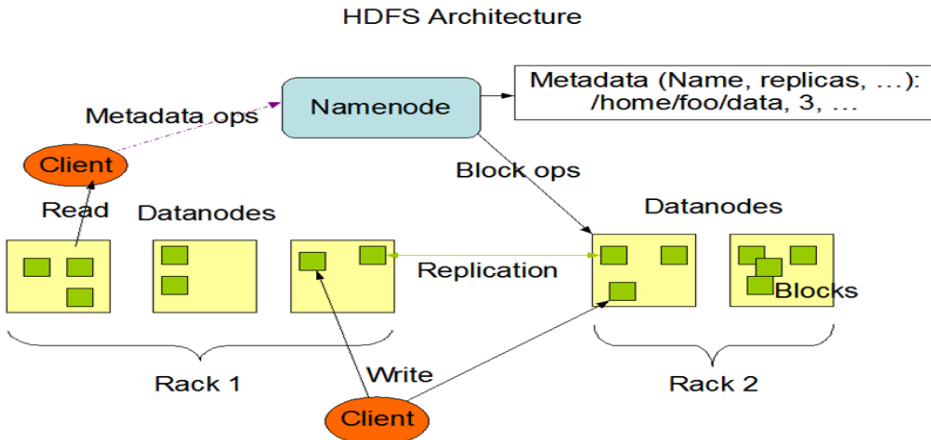
من البيانات الضخمة عبر الرفوف. يمكن تحقيق ذلك عن طريق نشر كتل البيانات المنسوخة على الأجهزة على رفوف مختلفة.



الشكل (5) النسخ المتماثل للبيانات على عقد Hadoop [10]

تعد NameNode و DataNode خوادم سلبية، وعادة ما تكون أجهزة Linux. تدير Hadoop برامج مختلفة على هذه الأجهزة لجعلها NameNode أو DataNode. تم تصميم HDFS باستخدام لغة Java. يمكن تحويل أي جهاز يمكن تشغيل Java عليه ليكون بمثابة NameNode أو DataNode.

يحتوي العقود النموذجي على جهاز مخصص يقوم بتشغيل برنامج NameNode فقط. يقوم كل جهاز من الأجهزة الأخرى الموجودة في نظام المجموعة بتشغيل مثل واحد من برنامج DataNode. يقوم NameNode بإدارة جميع بيانات تعريف HDFS.



الشكل (6) البنية التفصيلية في Hadoop [10]

• مفهوم MapReduce

MapReduce عبارة عن إطار عمل برمجي مقدم من قبل Google لإجراء معالجة متوازية على مجموعات البيانات الضخمة. على افتراض أن سعة تخزين البيانات الضخمة موزعة على عدد كبير من الأجهزة، يحسب كل جهاز البيانات المخزنة محلياً، مما يساهم بدوره في المعالجة الموزعة والمتوازية. هناك جزءان لمثل هذا الحساب - الخريطة والتقليل (Map & Reduce).

DataNodes المعيّنة إلى مرحلة الخريطة، تأخذ بيانات الإدخال الخام وتستند إلى نوع الحساب المطلوب ثم تنتج بيانات وسيطة يتم تخزينها محلياً. عقد التقليل (Reduce Nondes) تأخذ هذه المخرجات الوسيطة وتجمعها لاشتقاق المخرجات النهائية التي يتم تخزينها بعد ذلك في HDFS.

Hadoop يحاول جمع البيانات والحساب. يحاول NameNode بمعرفته بكيفية توزيع البيانات، تعيين المهمة إلى العقدة التي توجد بها البيانات محلياً. يمكن للمبرمجين كتابة خريطة مخصصة وتقليل الوظائف، وتعتني وظيفة MapReduce تلقائياً بتوزيع المهام وموازنتها عبر مجموعة من آلات السلع في المجموعة الموجودة أسفلها. كما أنها تدير الاتصالات بين الماكينات تاركة المبرمجين للتركيز على وظائف الحد من الخريطة الفعلية.

يستخدم Hadoop إطار الحوسبة المتسامح والموثوق والموزع والمتعامل مع الأعطال لتحليل مجموعات البيانات الضخمة الموزعة على HDFS.

• مفهوم Hive

Hive هي بنية تحتية لمستودع البيانات مبنية على أعلى طبقة في نظام Hadoop الموزع، وتوفر أدوات لتمكين ETL بسهولة من ضم مجموعات البيانات المختلفة وتجميعها وتصفيته. كما يسمح للمبرمجين ببناء وظائف MapReduce مخصصة.

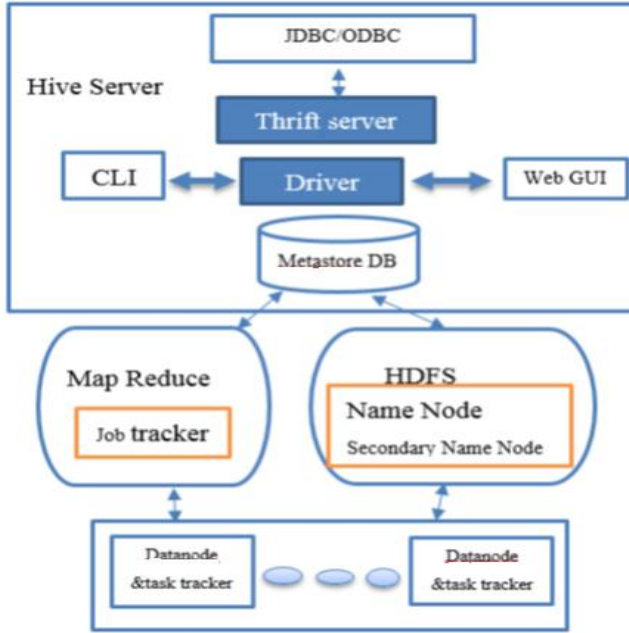
يوفر Hive واجهة استعلام مثل SQL تسمى HiveQL والتي تقوم داخلياً بعمليات (MapReduce).

Hive مفيدة للغاية عند معالجة كميات كبيرة من البيانات. ويعد سهل في الاستخدام لأنه يبسط تعقيد Hadoop. تدعم الكثير من الشركات تقنية Hive، وذلك لسبب بسيط يتمثل في دعم استعلامات SQL القائمة على Hadoop.

○ هيكلية Hive

الشكل التالي يوضح الهيكلية التفصيلية لـ Hive وعلاقاته مع باقي تقنيات

Hadoop



الشكل (7) هيكلية Hive [10]

من الشكل نجد مكونات Hive

- Thrift server: هذا المكون اختياري. يسمح ذلك للعميل البعيد بإرسال طلبات إلى خلية لاسترداد النتائج.
- Driver: يعد برنامج التشغيل مكوناً مهماً جداً يأخذ جميع الطلبات من CLI (واجهة سطر الأوامر) أو واجهة ويب أو خادم Thrift، ويقوم بجمع البيانات وتحسينها وتنفيذها.

- Meta Store: يخزن هذا المكون جميع معلومات البنية الخاصة بالجدول والأقسام المختلفة في المستودع بما في ذلك معلومات حول نوع العمود وخصائصه، أيضاً المتسلسلات ومزيلات التسلسل الضرورية لقراءة وكتابة البيانات وملفات HDFS المقابلة حيث يتم تخزين البيانات.

3-3- الحوسبة السحابية والبيانات الطبية الضخمة (دراسة مرجعية):

تشارك الحوسبة السحابية من خلال منصة الإنترنت على نطاق واسع في مهام تجميع وتخزين وإدارة ومعالجة البيانات الضخمة. وبسبب العمليات المتكررة للمعالجة الضخمة للبيانات، يعمل العديد من الباحثين لدعم نموذج برمجة معالجة البيانات الجماعية [11]. نموذج برمجة معالجة البيانات الشامل الأكثر شعبية في العالم هو MapReduce الذي صممه جوجل. يقسم نموذج البرمجة MapReduce المهمة إلى العديد من المهام الفرعية، ويمكن لهذه المهام الفرعية أن تجدد ما بين عقد المعالجة المتاحة، مما يجعل معالجة العقد لهذه المهمة أسرع.

تتمثل الموارد الأساسية للحوسبة السحابية في الخدمات، ويتم إصدار وظائف البرنامج في شكل خدمات، وغالباً ما تكون هناك حاجة لإيصال رسالة التعاون بين الخدمات المختلفة. لذلك، تعد البنية التحتية للاتصالات الموثوقة والأمنة وعالية الأداء ضرورية لنجاح الحوسبة السحابية.

يسمح نظام الملفات الموزعة للمستخدم بالوصول إلى ملف الخادم البعيد، حيث يشبه زيارة نظام الملفات المحلي، ويمكن للمستخدمين أخذ البيانات المخزنة في خوادم بعيدة متعددة. في الغالب، يحتوي نظام الملفات الموزع على آلية احتياطية، وآلية تتحمل الأخطاء لضمان صحة قراءة البيانات وكتابتها. بناءً على نظام الملفات الموزع ووفقاً لخصائص التخزين السحابي، فإن خدمة التخزين السحابي تجعل منها البنية المناسبة لتكوين وتحسين الخدمات الصحية [11].

يناقش المؤلفون في [12] التحديات والفرص في تصميم أنظمة لاسلكية قابلة للتطوير لاحتضان حقبة "البيانات الضخمة". حيث قوم بمراجعة بنيات الشبكات الحديثة وتقنيات معالجة الإشارات القابلة للتكيف لإدارة حركة البيانات الضخمة في الشبكات اللاسلكية.

وبدلاً من عرض البيانات الضخمة على الأجهزة المحمولة كعبء غير مرغوب فيه، فإنهم يقدمون طرفاً للاستفادة من حركة البيانات الضخمة، من أجل بناء شبكة لاسلكية كبيرة تدرك البيانات مع جودة خدمة لاسلكية أفضل وتطبيقات هواتف محمولة جديدة. تتناول هذه المقالة التحديات والفرص التي نواجهها في عصر البيانات الضخمة اللاسلكية. وقد حددوا العقبات الرئيسية التي تعترض معالجة إشارات البيانات الضخمة وتصميم الشبكات فيما يتعلق بحجم المشكلة وهياكل المشكلات المعقدة. ومع ذلك، فإن الأبحاث المتعلقة بالبيانات الضخمة الخاصة بالاتصالات اللاسلكية والشبكات ليست واعدة فحسب، بل لا مفر منها أيضاً في ضوء الانفجار المستمر لحجم البيانات.

تقترح الورقة [13] حلاً جديداً للحوسبة السحابية للمستشفيات الحكومية في دول العالم الثالث للوصول بشكل أفضل إلى المعلومات الطبية للمريض.

تقدم الدراسة [14] نموذجاً للحوسبة السحابية لدمج أنظمة معلومات المستشفيات التي تستند إلى بنية موجهة نحو الخدمة. يتيح النموذج المقترح وصولاً ملائماً لجميع مكونات النظام بما في ذلك مزود الخدمة والمكونات التنظيمية.

تقترح الورقة [15] وتنفذ نظام السجلات الطبية الإلكترونية (CloudeMR) القائم على السحابة لتحسين تقديم نظام الرعاية الصحية في المجتمعات الريفية. وتقدم بنية النظام الشاملة جنباً إلى جنب مع المكونات الوظيفية.

يقترح البحث [16] تطوير السجلات الصحية الإلكترونية (EHR) للتكامل مع مقدمي الرعاية الصحية في جميع أنحاء الهند ولتطبيقه مع البنية التحتية السحابية.

أجرت الدراسة [17] بحثاً عن تنفيذ الحوسبة السحابية في مؤسسات الرعاية الصحية، حيث ركزت على النموذج المتكامل لنظام معلومات السجلات الطبية للمرضى باستخدام التنسيق القياسي للمعلومات الصحية لتبادل البيانات.

تبحث الورقة [18] في تأثير الحوسبة السحابية على تحسين خدمات الرعاية الصحية. حيث تعرض تفاصيل التصميم المعماري لنظام سجلات الصحة الشخصية يسمى "MedCloud" الذي يستخدم ويدمج الخدمات من النظام البيئي Hadoop بالتزامن مع قواعد الخصوصية والأمن.

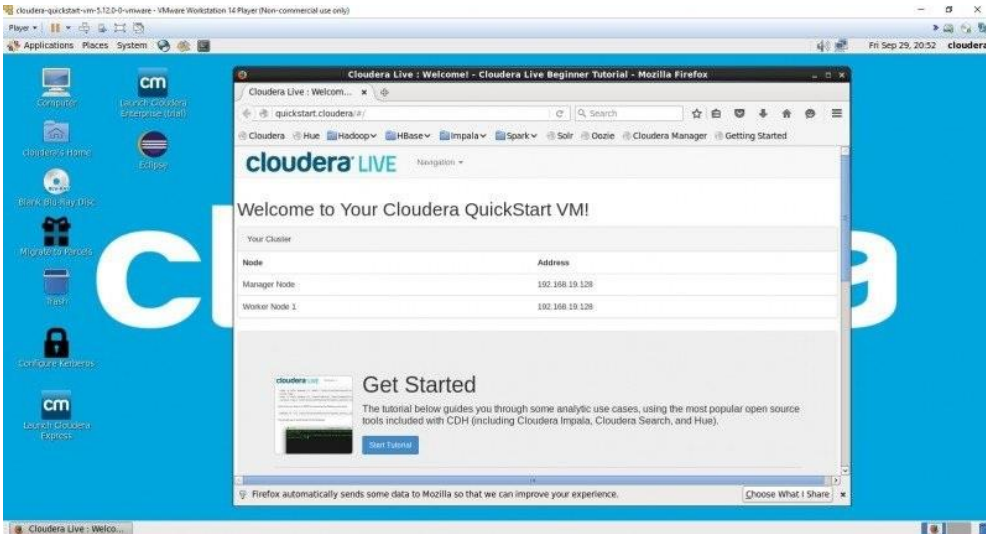
تقدم الورقة [19] هيكلية قائمة على السحابة والتي تربط القطاعات الرئيسية لأي إطار رعاية صحية من المريض والطبيب والأعراض والمرض. تركز الورقة بشكل أساسي على كيفية ترابط هذه الأجزاء وكيفية استنباط البيانات المناسبة منها. كتطبيق، فإنه يظهر واجهة محلل الرعاية الصحية الأساسية التي تأخذ البيانات كمدخلات ويتم التنقيب عن البيانات باستخدام بعض تقنيات استخراج البيانات.

Cloudera QuickStart VM 5.13.x -4-3

:(Cloudera Distribution Hadoop) CDH

هو توزيع Apache Hadoop مفتوح المصدر مقدم من Cloudera Inc وهي شركة برمجيات أمريكية.

يحتوي Cloudera quickstart VM على عينة من منصة Cloudera " Big Data". ويتوفر VM من Cloudera بتوزيعات VMware و VirtualBox و KVM ، وكلها تتطلب نظام تشغيل مضيف 64 بت. يعمل جهاز VM هذا على نظام CentOS 6.2 ويشمل CDH4.3 و Cloudera Manager 4.6 و Cloudera Impala 1.0.1 و Cloudera Search .9 Beta.



الشكل (8) بيئة عمل Cloudera

4- التصميم والتنفيذ:

الإطار المفاهيمي للنموذج المقترح

إن الحصول على البيانات الطبية الضخمة، كخطوة أساسية لعمليات معالجة البيانات، يهدف إلى جمع كمية كبيرة ومتنوعة من البيانات الطبية من حيث الحجم والنوع بطرق متنوعة.

بالتالي للتأكد من دقة هذه البيانات وموثوقيتها، يجب تطبيق تقنيات جمع أو استخراج البيانات الموزعة عالية السرعة والموثوقة على أساس النظام الأساسي لتحقيق تكنولوجيا تكامل البيانات عالية السرعة لتحليل البيانات الطبية وتحويلها وتحميلها، بما يراعي ضمان اتساق البيانات وأمانها.

إن تقنية تخزين البيانات الطبية الضخمة وإدارتها تحتاج إلى حل المشكلات على مختلف المستويات، مادياً ومنطقياً.

على المستوى المادي، من الضروري إنشاء نظام ملفات موثوق وموزع، مثل HDFS، لتوفير تقنية تخزين البيانات الطبية الضخمة متاحة دائماً، وقادرة على التسامح مع الأخطاء، وفعالة ومنخفضة التكلفة، إضافة إلى توفير إطار سحابي يوفر سهولة للوصول إلى البيانات زمنياً ومكانياً.

على المستوى المنطقي، من الضروري تطوير تقنية نمذجة البيانات الضخمة لتوفير إدارة ومعالجة البيانات الموزعة غير العلائقية وأيضاً توفير القدرة لتكامل البيانات غير المتجانسة، إضافة إلى القدرة التنظيمية لمثل هذه الأنواع من البيانات.

مما سبق يمكن تقسيم النظام السحابي للبيانات الطبية الضخمة إلى عدة مراحل:

- مرحلة جمع البيانات: مهمتها تنسيق تخزين البيانات الطبية الضخمة والمتنوعة، من مختلف المصادر الطبية، مثل المستشفيات ومراكز الرعاية الصحي.
- مرحلة تخزين البيانات: يتم فيها تخزين جميع البيانات التي تم جمعها من المرحلة السابقة في إطار نظام البيانات الضخمة.
- مرحلة استخراج البيانات واستكشاف المعرفة: وهي أهم مرحلة في هذه المنظومة. حيث تهدف إلى الاستعلام عن البيانات الطبية وتحليلها وتقديم الحلول والمعلومات التي تساعد في اتخاذ القرارات الطبية المناسبة.
- مرحلة التطبيق: وهي صلة الوصل بين المستخدمين والمنظومة، يستطيع من خلالها المستخدمون إدخال أو استعراض البيانات المتاحة حسب طبيعة وسماحيات الاستخدام.

الإطار التحليلي للنموذج المقترح

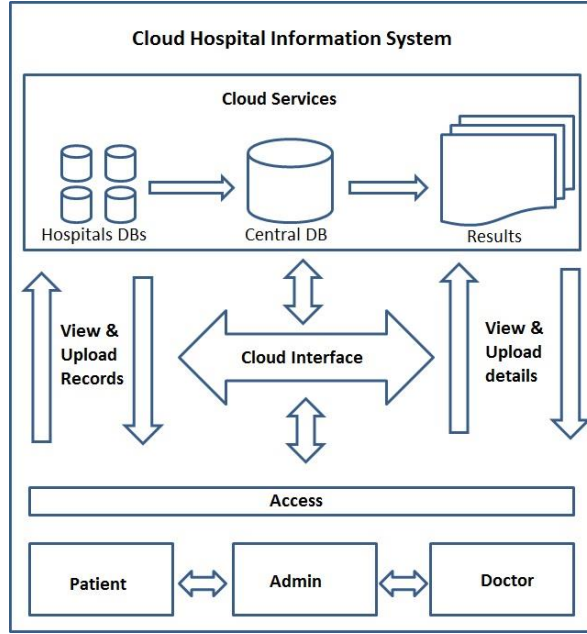
يمكن تقسيم العمل ضمن النموذج المقترح إلى عدة نماذج داخلية توضح تدفق البيانات والعمليات الداخلية ضمن المنظومة بشكل عام.

حيث يمكن القول أن عمل المنظومة يتحدد بشكل رئيسي عبر ثلاثة حلول:

- نموذج الحل السحابي للمنظومة الصحية بإطارها العام.
- نموذج تراسل البيانات ضمن السحابة متضمناً العمل مع البيانات الضخمة.
- نموذج تحليل البيانات الطبية الضخمة.

أولاً: نموذج الحل السحابي للمنظومة الصحية

يوضح الشكل (9) النموذج العام للحل السحابي للمنظومة الصحية، حيث يتضمن العلاقات بين كيانات المنظومة الصحية المقترحة.

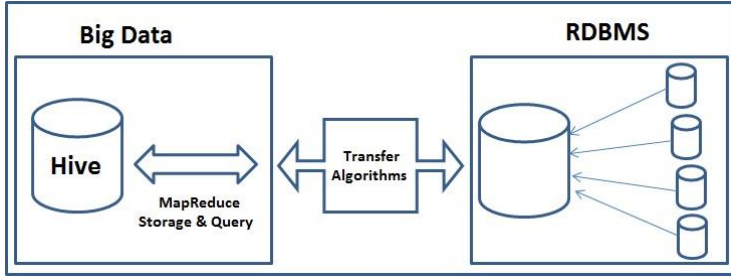


الشكل (9) نموذج الحل السحابي للمنظومة الصحية

ثانياً: نموذج تراسل البيانات الطبية ضمن السحابة

في النموذج المقترح يتم تجميع بيانات محددة من قواعد بيانات المستشفيات والمراكز الصحية، وتخزينها في قاعدة بيانات مركزية. هذه البيانات المحددة هي التي سيتم الاستفادة منها مستقبلاً في منصة بوابة الصحة الالكترونية أولاً، وثانياً في نقلها وتخزينها في إطار عمل البيانات الضخمة من أجل عمليات التحليل الطبي والحصول على المعرفة.

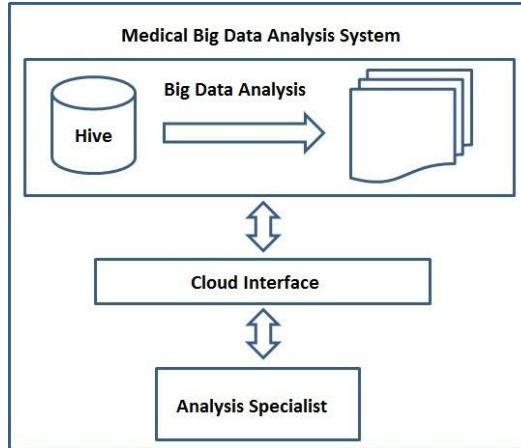
إن نظام التراسل بين قاعدة البيانات العلائقية وبيئة البيانات الضخمة هو ثنائي الاتجاه. وذلك ليتم الاستفادة من خصائص التخزين في بيئة البيانات الضخمة في حال حدوث انهيار أو فقدان في نظم البيانات العلائقية. حيث يتم استعادة البيانات بشكل سريع إلى قاعدة البيانات العلائقية المركزية. كما هو موضح في الشكل (10).



الشكل (10) نموذج تراسل البيانات الطبية ضمن السحابة

ثالثاً: نموذج تحليل البيانات الطبية الضخمة

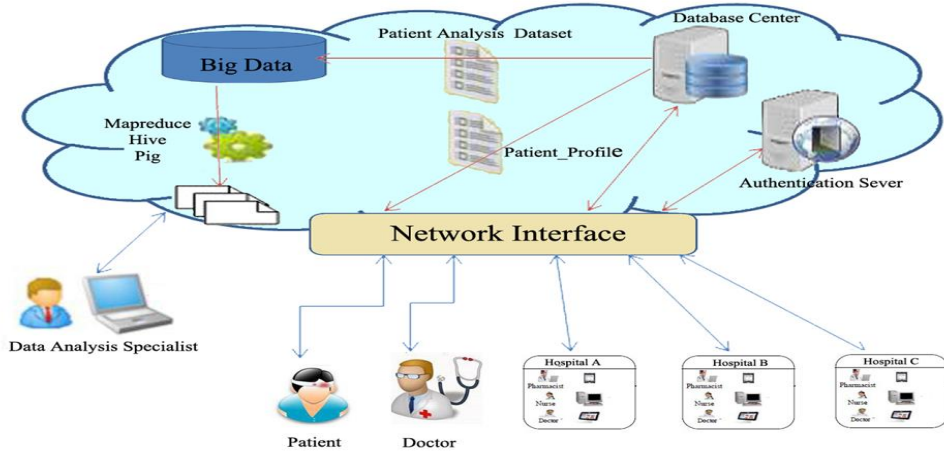
يوضح الشكل (11) نموذج منظومة تحليل البيانات الطبية اعتماداً على تقنيات البيانات الضخمة.



الشكل (11) نموذج تحليل البيانات الطبية الضخمة

هيكلية النموذج المقترح:

يوضح الشكل التالي (12) الهيكلية المقترحة لنموذج النظام السحابي للبيانات الطبية الضخمة. حيث يوضح هذا النموذج مختلف مراحل معالجة البيانات ضمن المنظومة الطبية، بدءاً من إدخال البيانات، مروراً بجمعها من مختلف المصادر، ثم نقلها إلى بيئة نظم البيانات الضخمة وتخزينها، وأخيراً تحليل هذه البيانات للحصول على المعلومات المطلوبة في استكشاف المعرفة الطبية.



الشكل (12) هيكلية نموذج الرعاية الصحية المقترح

تحليل وتطبيق النموذج المقترح

ينقسم تنفيذ النموذج إلى ثلاثة مراحل رئيسية:

- 1- الحل السحابي للمنظومة الصحية.
- 2- تراسل البيانات بين قواعد البيانات العلائقية و Hadoop.
- 3- تحليل البيانات الطبية باستخدام تقنيات البيانات الضخمة.

المرحلة الأولى: الحل السحابي للمنظومة الصحية

يتم تصميم واجهة مستخدم موحدة يمكن تطبيقها من قبل كل المستشفيات والمراكز الصحية، وكل مستشفى يمتلك قاعدة بياناته الخاصة حفاظاً على أمن المعلومات. يتم ربط قواعد بيانات هذه المستشفيات بقواعد بيانات خاصة موحدة تستخدم لهدفين: قاعدة بيانات خاصة بالمرضى يمكنهم الاستعلام منها عن الوضع الصحي وإجراءاته في جميع المستشفيات، وقاعدة بيانات خاصة لتحليل البيانات الطبية المستخلصة من جميع المشافي والتي تساعد في نظم اتخاذ القرار.

تدقق البيانات بين كل قواعد البيانات تلك يخضع لمجموعة من الشروط والخوارزميات: يأخذ المريض موعد دخول للمشفى بعد تحديد بعض المعلومات مثل القسم والطبيب.... إلخ، عند دخول المريض للمشفى سواء دخل بموعد أو لا يتم تسجيل كل المعلومات المتعلقة به في قاعدة البيانات الخاصة بهذه المشفى، وعند الانتهاء من المعاينة

والفحوص وإجراء العلاج يتم تخزين هذه البيانات بالتوازي في قاعدة بيانات المشفى وفي قاعدتي البيانات الخاصتين بالاستعلام والتحليل مع مراعاة السرية والأمان. حيث تخزن هذه المعلومات اعتمادا على الرمز الطبي للمريض دون التطرق إلى معلوماته الشخصية.

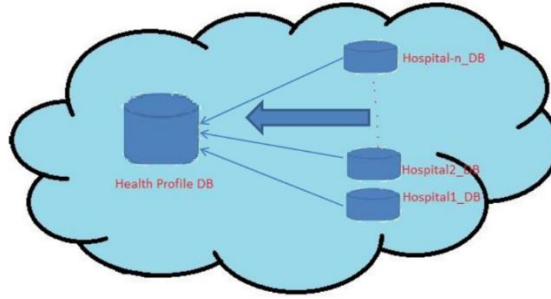
الجدول التالي يوضح قاعدة البيانات المستخرجة من قاعدة البيانات المركزية (من جميع قواعد بيانات المستشفيات) والتي ستستخدم في الاستعلام عن الملف الطبي:

| Field | Description of the field and its scope |
|------------------------|--|
| id | Record id |
| Medical_id | Patient's medical identity |
| First Name | First name of the patient |
| Last Name | Last name of the patient |
| Age | Age of the patient |
| Gender | Gender of the patient |
| City | Patient's address (City) |
| Country | Patient's Country |
| Hospital_Name | Name of hospital |
| Date_of_Hospital_visit | Date on which patient visited the hospital |
| Temperature | Temperature of the patient during the hospital visit |
| Blood_group | ، B-، B+، A-، A+، O-،Blood group. Scope:O+ AB -،AB+ |
| Blood_Needed | Whether patient needed blood transfusion (Yes،No) |
| Disease | Patient's disease |
| Treatment | Medicine used by the patient |
| Died | (Yes،No) |

الجدول (1) قاعدة البيانات العامة لاستعلام المريض

قاعدة البيانات السابقة (استعلام المرضى) تعتبر قاعدة بيانات عامة يتم ملؤها بشكل أوتوماتيكي باستخدام قوالب خاصة تستخرج البيانات من قواعد بيانات المشافي. الشكل (13).

بحيث أنه بعد أن يتم إنهاء جميع الإجراءات الطبية الممكنة للمريض، وتخزين البيانات للإجراءات المتخذة، يتم أخذ نسخة مختصرة لهذه الإجراءات وتخزينها في قاعدة البيانات الطبية العامة، وذلك للاستفادة من هذه البيانات في العلاجات المستقبلية للمرضى في مستشفيات أو مراكز أخرى. أي أنه يمكن الحصول على الملف الطبي الكامل للمريض من مختلف مراكز الرعاية الصحية من أي مكان وفي أي وقت.



الشكل (13) ترسل البيانات في منظومة الصحة السحابية

المرحلة الثانية: ترسل البيانات بين قواعد البيانات العلائقية و Hadoop

في هذه المرحلة سيتم دراسة نقل سجلات البيانات الطبية من قاعدة البيانات الصحية المركزية إلى قواعد بيانات خاصة بالبيانات الضخمة لتخزينها وإجراء مختلف التحليلات عليها، مع مراعاة الخصوصية للمرضى، أي أنه سيتم نقل البيانات العامة دون الشخصية، والتي يمكن أن تفيد في عمليات التحليل مثل العمر، المدينة، الجنس.... الجدول التالي يوضح قاعدة البيانات المستخرجة من قاعدة البيانات المركزية إلى (Hadoop) والتي سيتم نقلها إلى بيئة عمل البيانات الضخمة لإجراء مختلف التحليلات عليها:

Patient Analysis Dataset:

| Field | Description of the field and its scope |
|------------------------|--|
| id | Record id |
| Age | Age of the patient |
| Gender | Gender of the patient |
| City | Patient's address (City) |
| Country | Patient's Country |
| Date_of_Hospital_visit | Date on which patient visited the hospital |
| Temperature | Temperature of the patient during the hospital visit |
| Blood_group | Blood group. Scope:O+، O-، A+، A-، B+، B-، AB+، AB - |
| Blood_Needed | Whether patient needed blood transfusion |
| Disease | Patient's disease |
| Treatment | Medicine used by the patient |
| Died | (Yes،No) |

الجدول (2) قاعدة بيانات المرضى الخاصة بالتحليل

أغلب الدراسات التي تتعلق بتحليل البيانات الطبية الضخمة اعتمدت على قاعدة بيانات جاهزة تم تحميلها بشكل يدوي إلى بيئة عمل البيانات الضخمة ثم تطبيق التقنيات عليها. وفي بعض الحالات يتم استخدام تطبيقات جاهزة للنقل المستمر والمتزامن. في حالة النموذج المقترح تم الحصول أيضاً على قاعدة بيانات طبية جاهزة اخترنا منها مجموعة محددة من الأعمدة التي تلائم قاعدة البيانات الخاصة بالتحليل مع إجراء بعض

التعديلات مثل إضافة عمود الرمز الطبي وتغيير بعض البيانات مثل المدن والعناوين والتي توافق الجدول السابق...

ثم تخزين هذه السجلات في قاعدة البيانات المركزية (تم تخزين حوالي 20000 سجل) لتطبيق عمليات النقل الأولي وخوارزميات النقل المتزامن عليها بشكل مبدئي. كما تم تحميل قواعد بيانات طبية ضخمة أخرى لإجراء مختلف التحليلات في بيئة البيانات الضخمة لضمان مقارنة صحة النتائج.

تم اتباع عدد من الخطوات من أجل تجهيز قاعدة البيانات الطبية على محرك قواعد البيانات العلائقية RDBMS، قبل العمل على نقلها إلى Hive في Hadoop. وهذه الخطوات كالتالي:

بعد إنشاء قاعدة البيانات الخاصة بالسجلات الصحية (syr_health)، تم تحميل قاعدة البيانات التي تم تجهيزها مسبقاً والتي تضم حوالي (20000) سجل صحي. وتم توزيعها إلى جدولين. الجدول الأول خاص بالاستعلام من بوابة الصحة الالكترونية وهو خاص بالمرضى والمراكز الصحية (medical_info).

أما الجدول الثاني فهو خاص بالتحليل، حيث أنه لا يضم معلومات شخصية، فقط يضم السجلات التي تهتم في مجال تحليل البيانات الطبية بشكل عام (medical_analysis). وهذا الجدول هو الذي سيتم التعامل معه في نقل البيانات إلى Hadoop. حيث سيتم هناك جميع عمليات التحليل والتقييم.

```

cloudera@quickstart:~
File Edit View Search Terminal Help
mysql> use syr_health;
Database changed
mysql> show tables;
Empty set (0.00 sec)

mysql> show tables;
Empty set (0.00 sec)

mysql> source /home/cloudera/Desktop/syr_health.sql;
Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)

Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)

Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)

Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)
    
```

الشكل (14) تحميل البيانات إلى قاعدة البيانات العلائقية الطبية


```

cloudera@quickstart:~
File Edit View Search Terminal Help
mysql> use syr health
Reading table information for completion of table and column names
You can turn off this feature to get a quicker startup with -A

Database changed
mysql> show tables;
+-----+
| Tables in syr_health |
+-----+
| medical_analysis    |
| medical_info        |
+-----+
2 rows in set (0.00 sec)

mysql> desc medical_analysis;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field          | Type          | Null | Key | Default | Extra |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id             | int(11)       | NO   |     | NULL    |       |
| gender         | varchar(25)   | NO   |     | NULL    |       |
| age            | int(11)       | NO   |     | NULL    |       |
| city           | varchar(200)  | NO   |     | NULL    |       |
| country        | varchar(100)  | NO   |     | NULL    |       |
| hospital_name  | varchar(200)  | NO   |     | NULL    |       |
| date_visit     | date          | NO   |     | NULL    |       |
| temperature    | float         | NO   |     | NULL    |       |
| blood_group    | varchar(10)   | NO   |     | NULL    |       |
| blood_needed   | varchar(10)   | NO   |     | NULL    |       |
| disease        | varchar(200)  | NO   |     | NULL    |       |
| treatment      | varchar(500)  | NO   |     | NULL    |       |
| died           | varchar(20)   | YES  |     | NULL    |       |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

الشكل (15) بنية جدول السجلات الطبية الخاص بالتحليل

```

cloudera@quickstart:~
File Edit View Search Terminal Help
mysql> show tables;
+-----+
| Tables in syr_health |
+-----+
| medical_info        |
+-----+
1 row in set (0.00 sec)

mysql> select * from medical_info where medical_id='11-1111111';
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | Medical_id | first_name | last_name | gender | age | city | country | hospital_name | date_visit | temperature | blood_group | blood_needed | disease | treatment |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 20001 | 11-1111111 | Shadi | Blidi | Male | 36 | Latakia | Syria | Al-Assad | 2018-08-19 | 37.4 | O+ | No | Tishreen tis | Adrenalinum, Adrenocorticotrophin |
| 20002 | 11-1111111 | Shadi | Blidi | Male | 36 | Latakia | Syria | Al-Assad | 2019-05-23 | 38 | O+ | Yes | Tishreen tis | SERTRALINE HYDROCHLORIDE |
| 20003 | 11-1111111 | Shadi | Blidi | Male | 36 | Latakia | Syria | Al-Assad | 2018-07-31 | 37.7 | O+ | No | Tishreen tis | Kodium, Phytocala decandra |
| 20004 | 11-1111111 | Shadi | Blidi | Male | 36 | Latakia | Syria | Al-Mouwasat | 2018-03-22 | 37.2 | O+ | No | Tishreen tis | Tetracosporium paxianum |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

الشكل (16) الاستعلام عن البيانات الطبية

الآن بعد تحميل قاعدة بيانات السجلات الطبية، هنالك عدة خطوات لنقلها إلى Hadoop.

Hive عبارة عن إطار عمل (جدول افتراضي) لتخزين البيانات مبني على الجزء العلوي من Hadoop. وستتم إدارة هذه الجداول بالكامل من قبل محرك قاعدة بيانات Hive. يتم تخزين جميع الجداول في الدليل الافتراضي التالي: (/user/hive/warehouse).

سيتم إنشاء جدول لبيانات السجلات الطبية في Hive ، لاستقبال السجلات القادمة من قاعدة البيانات العلائقية وتخزينها لإجراء التحليلات عليها لاحقاً. كما يلي:
إنشاء قاعدة البيانات الطبية في Hive:

```

cloudera@quickstart:~
File Edit View Search Terminal Help
[cloudera@quickstart ~]$ sudo hive
Logging initialized using configuration in file:/etc/hive/conf.dist/hive-log4j.properties
WARNING: Hive CLI is deprecated and migration to Beeline is recommended.
hive> show databases;
OK
default
Time taken: 4.712 seconds, Fetched: 1 row(s)
hive> create schema syr health;
OK
Time taken: 11.527 seconds
hive> show databases;
OK
default
syr health
Time taken: 0.044 seconds, Fetched: 2 row(s)
    
```

الشكل (17) إنشاء قاعدة البيانات الطبية في Hive

إنشاء جدول السجلات الطبية في Hive بهيكلية متوافقة مع جدول السجلات الطبية في قاعدة البيانات العلائقية:

```

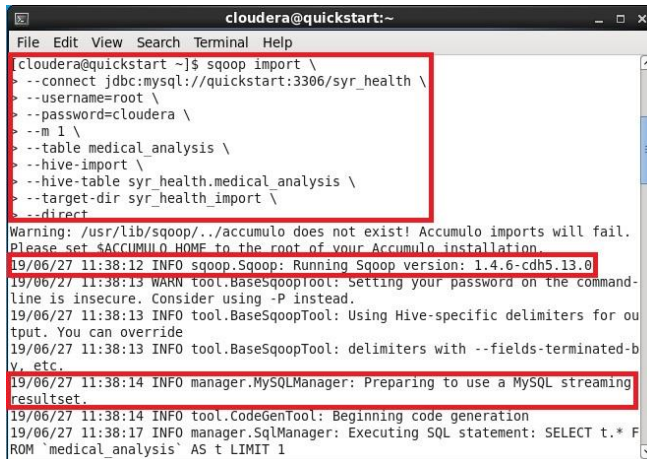
cloudera@quickstart:~
File Edit View Search Terminal Help
hive> use syr health;
OK
Time taken: 0.106 seconds
hive> show tables;
OK
Time taken: 0.381 seconds
hive> create external table if not exists medical_analysis(id int,gender varchar(25),age int,city varchar(200),country varchar(100),hospital_name varchar(200),date_visit date,temperature float,blood_group varchar(10),blood_needed varchar(10),disease varchar(200),treatment varchar(500),died varchar(20));
OK
Time taken: 0.481 seconds
hive> show tables;
OK
medical_analysis
Time taken: 0.091 seconds, Fetched: 1 row(s)
hive> desc medical_analysis;
OK
id                int
gender            varchar(25)
age              int
city             varchar(200)
country         varchar(100)
hospital_name    varchar(200)
date_visit       date
temperature      float
blood_group      varchar(10)
blood_needed     varchar(10)
disease          varchar(200)
treatment        varchar(500)
died             varchar(20)
Time taken: 0.787 seconds, Fetched: 13 row(s)
    
```

الشكل (18) إنشاء جدول السجلات الطبية في Hive

والآن نستخدم الأداة Sqoop لاستيراد البيانات من MySQL إلى Hive، وفق الخوارزمية التالية:

```
sqoop import \  
--connect jdbc:mysql://quickstart:3306/syr_health \  
--username=root \  
--password=cloudera \  
--m 1 \  
--table medical_analysis \  
--hive-import \  
--hive-table syr_health.medical_analysis \  
--target-dir /syr_health_import \  
--direct
```

حيث تقوم هذه الخوارزمية بنقل السجلات الطبية من الجدول medical_analysis في MySQL إلى الجدول medical_analysis في Hive.



```
cloudera@quickstart:~  
File Edit View Search Terminal Help  
cloudera@quickstart ~]$ sqoop import \  
--connect jdbc:mysql://quickstart:3306/syr_health \  
--username=root \  
--password=cloudera \  
--m 1 \  
--table medical_analysis \  
--hive-import \  
--hive-table syr_health.medical_analysis \  
--target-dir syr_health_import \  
--direct  
Warning: /usr/lib/sqoop/./accumulo does not exist! Accumulo imports will fail.  
Please set $ACCUMULO_HOME to the root of your Accumulo installation.  
19/06/27 11:38:12 INFO sqoop.Sqoop: Running Sqoop version: 1.4.6-cdh5.13.0  
19/06/27 11:38:13 WARN tool.BaseSqoopTool: Setting your password on the command-  
line is insecure. Consider using -P instead.  
19/06/27 11:38:13 INFO tool.BaseSqoopTool: Using Hive-specific delimiters for ou  
tput. You can override  
19/06/27 11:38:13 INFO tool.BaseSqoopTool: delimiters with --fields-terminated-b  
y, etc.  
19/06/27 11:38:14 INFO manager.MySQLManager: Preparing to use a MySQL streaming  
resultset.  
19/06/27 11:38:14 INFO tool.CodeGenTool: Beginning code generation  
19/06/27 11:38:17 INFO manager.SqlManager: Executing SQL statement: SELECT t.* F  
ROM `medical_analysis` AS t LIMIT 1
```

الشكل (19) خوارزمية استيراد البيانات من MySQL إلى Hive

```

cloudera@quickstart:~
File Edit View Search Terminal Help
Virtual memory (bytes) snapshot=1562673152
Total committed heap usage (bytes)=190316544
File Input Format Counters
Bytes Read=0
File Output Format Counters
Bytes Written=2091459
19/06/27 11:44:21 INFO mapreduce.ImportJobBase: Transferred 1.9946 MB in 276.988
5 seconds (7.3737 KB/sec)
19/06/27 11:44:21 INFO mapreduce.ImportJobBase: Retrieved 20064 records
19/06/27 11:44:22 INFO manager.SqlManager: Executing SQL statement: SELECT t.* F
ROM `medical_analysis` AS t LIMIT 1
19/06/27 11:44:22 WARN hive.TableDefWriter: Column date_visit had to be cast to
a less precise type in Hive
19/06/27 11:44:22 INFO hive.HiveImport: Loading uploaded data into Hive
Logging initialized using configuration in jar:file:/usr/lib/hive/lib/hive-commo
n-1.1.0-cdh5.13.0.jar!/hive-log4j.properties
OK
Time taken: 16.549 seconds
Loading data to table syr_health.medical_analysis
Table syr_health.medical_analysis stats: [numFiles=1, totalSize=2091459]
OK
Time taken: 21.522 seconds
[cloudera@quickstart ~]$
    
```

الشكل (20) عمليات Sqoop في استيراد البيانات

بعد الانتهاء من عملية الاستيراد يتم اختبار وصول البيانات بالشكل السليم.

```

cloudera@quickstart:~
File Edit View Search Terminal Help
hive> select * from medical_analysis limit 5;
OK
1 Female 41 Damascus Syria Al-Mouwasat 2019-02-01 38.4 AB- Yes Myocardial infarctionA
SCORBIC ACID, CHOLECALCIFEROL, DL-ALPHA-TOCOPHEROL ACETATE, THIAMINE HYDROCHLORIDE, RIBOFLAVIN, NIACINAMIDE, PYRIDOXINE HYDR
DCHLORIDE, FOLIC ACID, CYANOCOBALAMIN, CALCIUM CARBONATE, FERROUS FUMARAT No
2 Male 60 Al-Hasakah Syria Al-Assad 2018-12-17 37.1 B+ Yes Neuritis Minoxid
dil No
3 Female 77 Daraa Syria Al-Assad 2018-01-16 38.4 AB+ Yes Leukemia OCTINOXATE, TI
TANIUM DIOXIDE No
4 Male 31 Raqqa Syria Al-Mouwasat 2018-04-27 37.5 A+ No Cancer Isoniazid No
5 Male 53 Deir ezzor Syria Al-Assad 2019-06-19 39.0 A+ No Osteitis N
Time taken: 0.36 seconds, Fetched: 5 row(s)
    
```

الشكل (21) اختبار الاستعلام عن البيانات في Hive

بالتالي أصبحت قاعدة بيانات السجلات الطبية في Hadoop جاهزة لإجراء عمليات التحليل المختلفة.

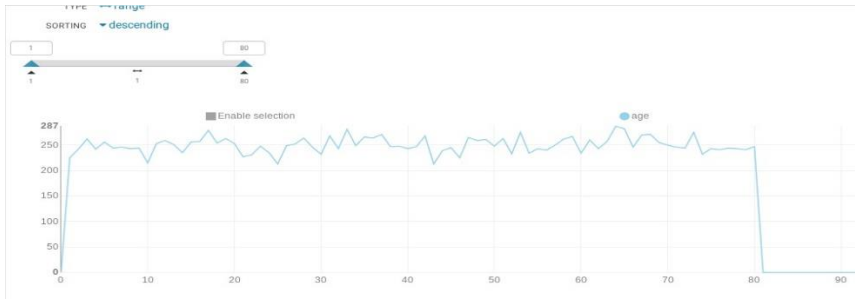
المرحلة الثالثة: تحليل البيانات الطبية الضخمة

بعد أن تمت معالجة نقل البيانات الطبية إلى نظام تخزين البيانات الضخمة في Hadoop تأتي مرحلة تحليل هذه البيانات وإظهار النتائج.

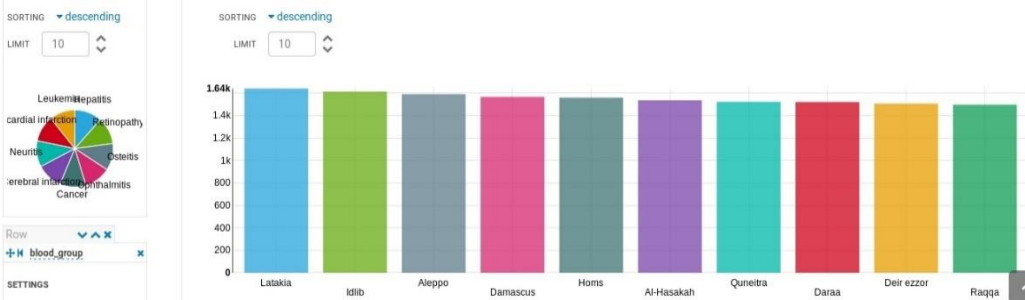
فيما يلي سيتم استخدام أدوات بيانية لتحليل وتمثيل البيانات تفيد في مجال المقارنات والأبحاث المتقدمة.

i- باستخدام الأداة (Hue Dashboard)

Hue Dashboard هي أداة تحليل بيانات مدمجة مع منظومة (Hue UI)، تقدم العديد من الإمكانيات المتقدمة في مجال الاستعلام التحليلي الدقيق والواسع النطاق. قمنا باستخدام هذه الأداة لدراسة بعض الحالات المتعلقة بقاعدة البيانات الطبية المخزنة كما يلي:



الشكل (22) تمثيل بياني لمعدل أعداد المرضى حسب العمر



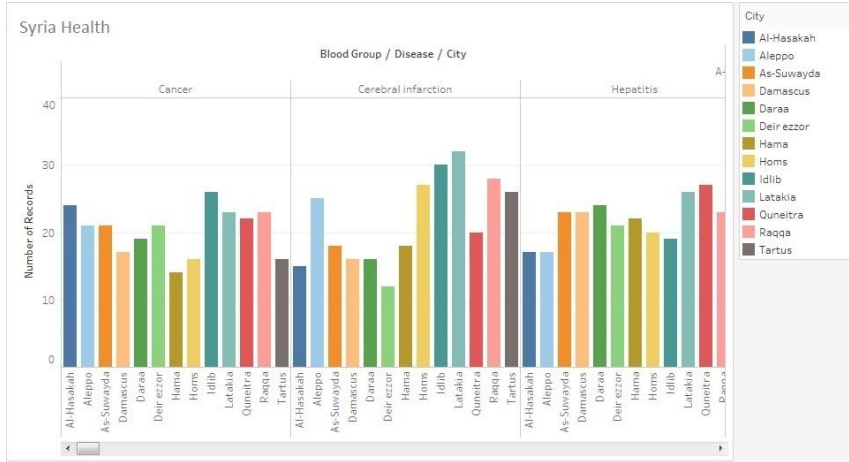
الشكل (23) تمثيل بياني لأعداد المرضى في كل محافظة، مع نسبة كل مرض

ii- باستخدام برنامج (Tableau)

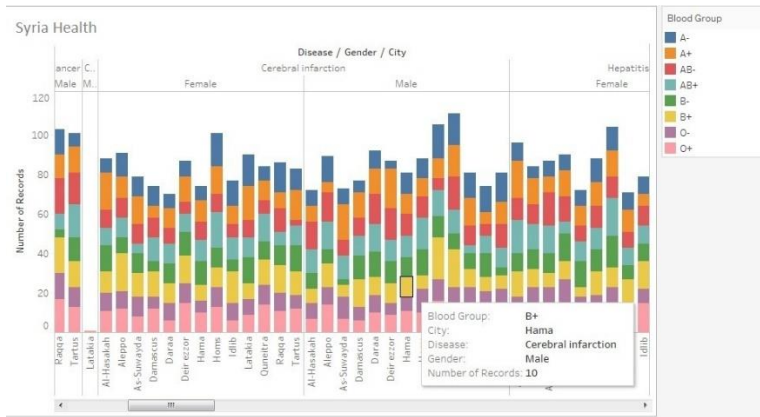
Tableau هي أداة قوية لتمثيل البيانات وتطوير ذكاء الأعمال، يأتي مع واجهة سهلة الاستخدام لإجراء تحليل عميق. مع Tableau، يمكن للمستخدم الحصول بسرعة على تحليلات قيمة من فضاء بيانات Hadoop الواسع. ويتيح Tableau أيضاً معرفة عميقة بلغات الاستعلام المتقدمة ويجعل البيانات الضخمة أكثر سهولة من خلال التحليل البصري.

نمذجة وتحليل البيانات الطبية الضخمة في بيئة الحوسبة السحابية

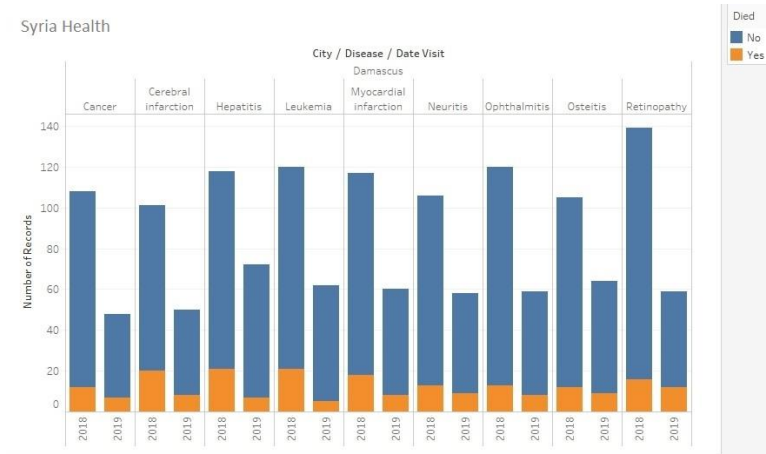
Hadoop هو أحد مصادر البيانات لـ Tableau ، وباستخدام روابط أصلية بسيطة، يمكن توصيل Tableau بسهولة بـ Hadoop، Hive، Impala. فيما يلي مجموعة من التحليلات التي قمنا بها على قاعدة البيانات الطبية باستخدام الأداة (Tableau).



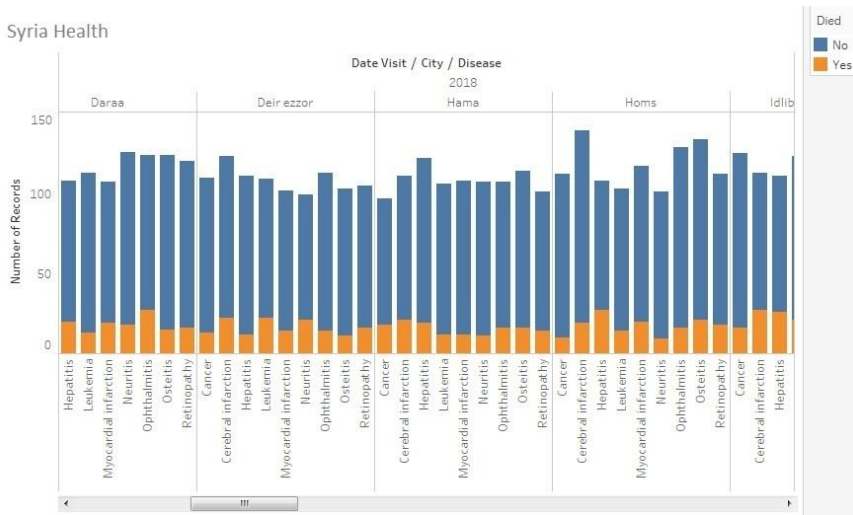
الشكل (24) توزيع المرض في كل محافظة حسب الزمرة الدموية



الشكل (25) توزيع المرض في كل محافظة حسب الجنس والزمرة الدموية

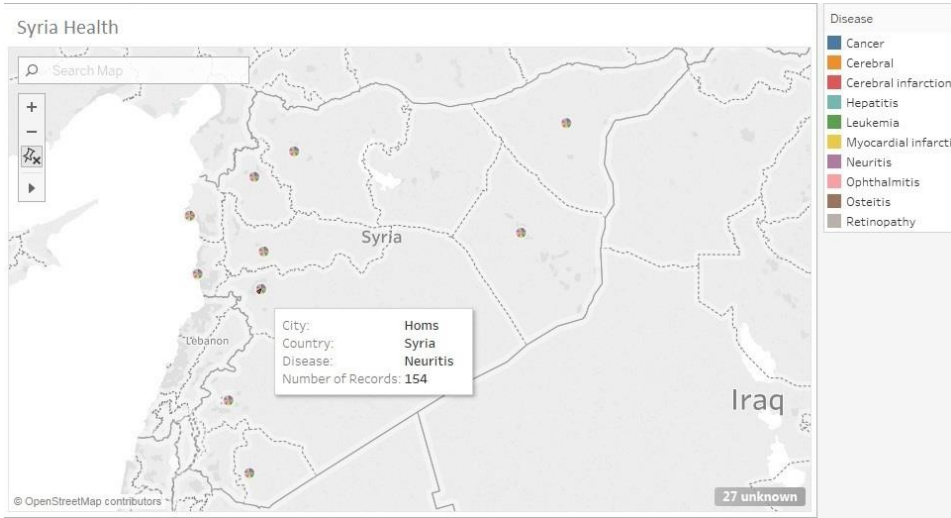


الشكل (26) نسبة الوفيات السنوية حسب كل مرض في محافظة دمشق



الشكل (27) نسبة الوفيات السنوية في كل محافظة حسب المرض

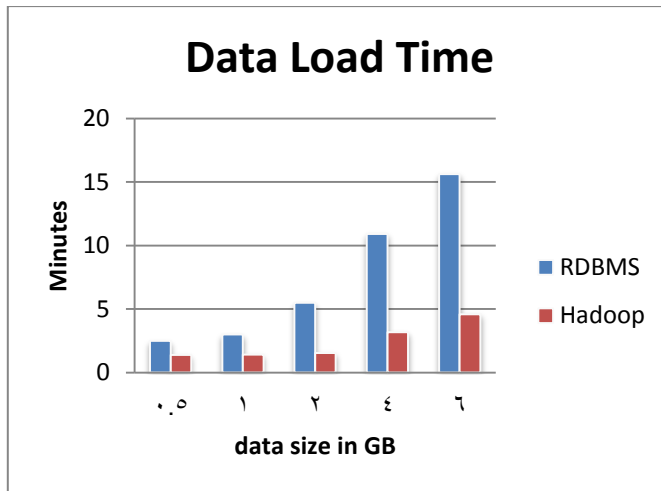
- خريطة نسب توزع الأمراض في كل محافظة



الشكل (28) خريطة نسب توزع الأمراض في كل محافظة

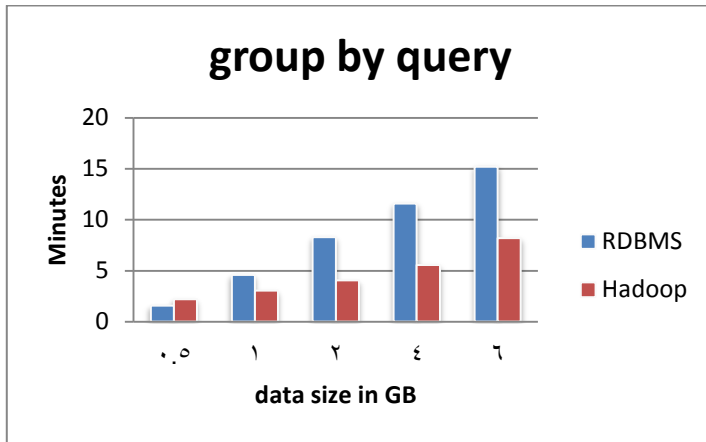
5- مقارنات واستنتاجات وتوصيات:

مقارنة أداء تحميل البيانات الطبية بين RDBMS و (Hive في Hadoop)

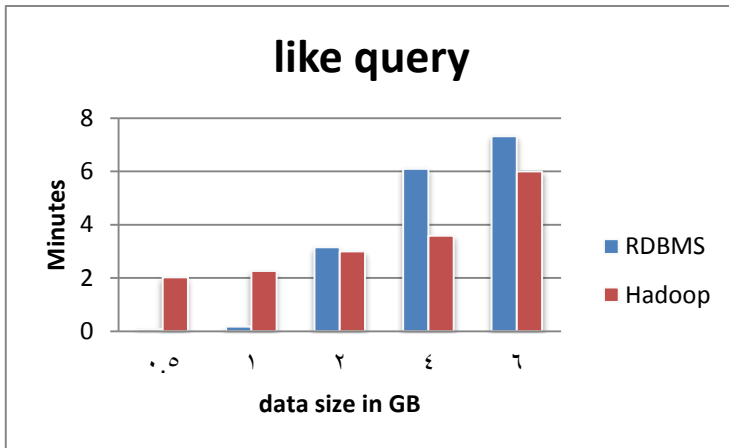


الشكل (29) مقارنة وقت تحميل البيانات بين RDBMS و Hadoop

مقارنة أداء تنفيذ الاستعلامات الطبية بين RDBMS و Hadoop



الشكل (30) مقارنة تنفيذ استعلام group by بين RDBMS و Hadoop



الشكل (31) مقارنة تنفيذ استعلام Like بين RDBMS و Hadoop

تُظهر التحليلات السابقة زيادة كبيرة في الأداء مع Hadoop بسبب بنيتها الموزعة مقابل RDBMS ذات الجزء الواحد. بالتالي وجد أن الفرق في الوقت اللازم لتحميل البيانات على RDBMS مقابل Hadoop ينمو بشكل كبير مع حجم البيانات.

كما نجد أن فاعلية Hadoop في تنفيذ الاستعلامات على البيانات الضخمة تزيد كلما تزايدت هذه البيانات، على عكس RDBMS. وهذا من شأنه زيادة الأفضلية لنظم استعلامات البيانات الضخمة في الاستعلام عن البيانات الطبية الضخمة والمعقدة الهيكلية، مما يساعد في تسريع الوصول إلى التحليلات المناسبة وبالتالي الوصول الأسرع إلى اتخاذ القرارات الطبية المتصلة.

بالتالي نجد بأن تخزين البيانات الطبية ومعالجتها في بيئة Hadoop أثبتت أفضلية مطلقة في التعامل مع هذه البيانات من حيث التخزين والاستعلام والتحليل.

التوصيات:

في ظل توفر وسائل الاتصال والسرعات العالية للإنترنت، لابد من ربط المراكز الصحية والمستشفيات الحكومية منها والأهلية بمركز رئيسي واحد للبيانات وذلك لمتابعة حالة المرضى والاطلاع على تاريخهم الصحي في حال قام مريض بزيارة أكثر من طبيب، أو أكثر من مشفى. ولتقديم هذه الخدمة يُفضل توظيف التقنيات الحديثة التي تؤمن عمل مثل هذه المنظومات، كتقنيات البيانات الضخمة والحوسبة السحابية.

بعد ذلك، سيتكون لدينا كم هائل من البيانات والإحصاءات الصحية للمرضى، بالتالي يستطيع متخذو القرار الاستفادة منها لإصدار الأحكام والقرارات الملامسة للواقع. وذلك بعدة طرق كإخراج التقارير الدورية لحالة المرضى بشكل عام أو محدد، وكذلك معرفة أعداد المرضى لحالات خاصة في فترات زمنية معينة لأخذ التدابير الوقائية والاستعدادية، ويمكن أيضاً تطبيق وسائل تحليل واستخراج البيانات الطبية للاستفادة من هذا الكم الهائل من البيانات.

وتتلخص وسائل تحليل واستخراج البيانات الطبية في عملية استخراج البيانات والإحصاءات المترابطة والتي تشترك بخصائص وصفات متشابهة من بيانات تاريخية

متوفرة لتشكل المعلومات، وتقوم بمعالجتها وتحليلها والربط بين العوامل المشتركة بينها ومن ثم اكتشاف المعرفة الطبية. فعند توفر كل هذا الكم الكبير من البيانات الصحية، يمكن اكتشاف العوامل المشتركة المسببة لأمراض محددة، فيتم تصنيف الأمراض المنتشرة ومدى خطورتها عند تناول غذاء محدد وفي وقت معين لأشخاص في مرحلة عمرية متشابهة، وكذلك يمكن إيجاد أعراض الأمراض المنتشرة ومن ثم تجميع وعنقدة المناطق والمدن حسب وجود الأعراض فيها ليتم معالجتها حسب الأولوية وهكذا.

إن من الجوانب المهمة والمساهمات الأساسية لهذا البحث هو أنه يفتح الآفاق لدراسات مستقبلية يمكن العمل عليها من أجل تحسين النتائج، وفتح باب اعتماد النموذج المقترح في الدراسة وتطويره ليلائم بيئات العمل المختلفة، وإمكانية تطبيقه في قطاعات عمل أخرى مع إجراء بعض التعديلات.

المراجع العلمية:

- [1] BOLLINENI, P. K., & NEUPANE K, 2011- Implications for adopting cloud computing in e-Health.
- [2] MEMON A. , NAEEM M. R., TAHIR M., AAMIR M., & WAGAN A., 2014- A New Cloud Computing Solution for Government Hospitals to Better Access Patients' Medical Information, American Journal of Systems and Software, 2(3), 56-59.
- [3] SHAH T., RABHI F., & RAY P., 2015- Investigating an ontology-based approach for Big Data analysis of inter-dependent medical and oral health conditions, Cluster Computing, 18(1), 351-367.
- [4] MICHAEL A., ARMANDO F., REAN G., ANTHONY D. J., RANDY K., ANDY K., ... & MATEI Z, 2010- A view of cloud computing, Communications of the ACM, 53(4), 50-58.
- [5] AL-REFAI A., & PANDIRI S., 2011- Cloud Computing: Trends and Performance Issues.
- [6] WIKIPEDIA. Big data, 2014- http://en.wikipedia.org/wiki/Big_data، accessed April 2014.
- [7] VITRIA. The Operational Intelligence Company, 2014- <http://blog.vitria.com>، accessed April 2014.
- [8] APACHE HADOOP. What Is Apache Hadoop?, 2014- <http://hadoop.apache.org/>، accessed April 2014.

- [9] WIKIPEDIA. Apache Hadoop, 2014-
http://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Hadoop,
accessed April 2014.
- [10] WHITE T., 2012- Hadoop: The definitive guide. " O'Reilly
Media, Inc."
- [11] CATLEY C., SMITH K., MCGREGOR C., & TRACY
M., 2009- Extending CRISP-DM to incorporate temporal data
mining of multidimensional medical data Streams: A neonatal
intensive care unit case study, In 2009 22nd IEEE International
Symposium on Computer-Based Medical Systems, (pp. 1-5).
IEEE.
- [12] JAVIER A, CARMEN C. Y. POON, ROBERT D.
MERRIFIELD, STEPHEN T. C. WONG, GUANG-ZHONG
YANG 2015- "Big Data for Health", IEEE Journal of
biomedical and health informatics, Vol.19 No.4.
- [13] DHIRAJ D. J., KOMAL S. B., TRUPTI V. P., SOHAIL SH.,
2018- 'Medical Data Mining for General Hospital',
International Research Journal of Engineering and Technology
(IRJET), Volume: 05 Issue: 05.
- [14] SETAREH S., REZAAE A., FARAHMANDIAN V.,
HAJINAZARI P., & ASOSHEH A., 2014 - A cloud-based
model for hospital information systems integration. IEEE, In
7'th International Symposium on Telecommunications
(IST'2014) (pp. 695-700).
- [15] BOYINBODE O., & TORIOLA G., 2015-CloudeMR: A Cloud
Based Electronic Medical Record System. International Journal
of Hybrid Information Technology, 8(4), 201-212.

- [16] KAVITHA R., KANNAN E., & KOTTESWARAN S., 2016- Implementation of cloud based electronic health record (EHR) for Indian healthcare needs. Indian Journal of Science and Technology, 9(3), 1-5.
- [17] PARDAMEAN B., & RUMANDA R. ,2011- Integrated model of cloud-based E-medical record for health care organizations. In 10th WSEAS international conference on e-activities (pp. 157-162).
- [18] SOBHY D., EL-SONBATY Y., & ELNASR M. A., 2012- MedCloud: healthcare cloud computing system. IEEE, In 2012 International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (pp. 161-166).
- [19] PAREKH M., & SALEENA B., 2015- Designing a cloud based framework for healthcare system and applying clustering techniques for region wise diagnosis. Procedia Computer Science, 50, 537-542.

الوصلات الهجينة أحادية التراكب مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم**في هياكل الطائرات: دراسة تجريبية ومحاكاة عددية**

طالب الدراسات العليا: م. علي يحيى سلامة*

المشرفين: د. رفيع جبره + د. أيهم الشبل

* قسم الفيزياء التطبيقية، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

ملخص:

تناول هذا البحث دراسة إجهاد انهيار الوصلات الهجينة أحادية التراكب مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم الداخلة في صناعة هياكل الطائرات، وتحديد تأثير كل من زاوية توجه ألياف المادة المركبة في الوصلة، ونوع الألياف المنسوجة المستعملة، وسماكة صفيحة سبيكة الألومنيوم فيها، وقطر ثقب الوصلة على إجهاد بداية الانهيار، والإجهاد الأعظمي الذي تتحمله الوصلة. كما اشتملت هذه الدراسة على إجراء المحاكاة العددية لهذه الوصلات من أجل تحديد إجهاد بداية الانهيار، والإجهاد الأعظمي باستخدام برنامج Ansys Workbench، ومقارنة نتائج المحاكاة العددية مع الاختبارات التجريبية لاستقصاء إمكانية الاعتماد على المحاكاة العددية في تحديد متانة الوصلات دون الحاجة لتكرار الاختبارات التجريبية. بينت النتائج أن الإجهادات في محيط الثقب تتناسب طردياً مع زيادة سماكة صفيحة الألومنيوم، وتتنخفض مع زيادة قطر الثقب، وأن نوع الألياف المستعملة يؤثر بشكل متفاوت على هذه الإجهادات. تبين أيضاً أن الطبقات ذات توجه ألياف $\pm 45^0$ بالنسبة إلى محور الوصلة تتحمل إجهادات أكبر، وتكون أكثر مطيلية من الوصلات نفسها ذات توجه ألياف $0,90^0$. أظهرت نتائج المحاكاة العددية وجود اختلافات في قيم الإجهادات المتولدة في محيط الثقب نتيجة إلغاء فرضيات التبسيط في قانون حساب الإجهادات، كما أظهرت حساسية أكبر في كشف الانهيارات الموضوعية من تلك الملاحظة على التغيرات في منحني الحمولة - الاستطالة.

الكلمات المفتاحية: مواد مركبة، ألياف زجاج، ألياف كربون، راتنج الإيبوكسي، الوصلات

أحادية التراكب، محاكاة عددية

Single lap joints composite materials- aluminum alloy in aircraft structure: Experimental study and numerical simulation

Ali Yahia Salamah, Rafee Jabra, Ayham Alshebl

Abstract:

The present work examines the study of failure stress of hybrid single-lap composite materials - aluminum alloy joints used in the manufacture of aircraft airframes, and the effects of the fibers orientation angle of the composite material in the joint, the type of woven fibers used, the thickness of the aluminum alloy plate, and the diameter of the joint hole on the onset failure stress, and the maximum stress for the joint. This work included also conducting numerical simulation of these joints in order to determine the failure onset stress, and the maximum stress using the Ansys Workbench software, and the comparison of the numerical simulation results with experimental mechanical tests to investigate the possibility of relying on numerical simulation in determining the strength of the joints without the need to repeat the experimental mechanical tests.

The results showed that the stresses in the perimeter of the hole are proportional to the increase in the thickness of the aluminum alloy plate, and decrease with the increase in the diameter of the hole, and that the type of fiber used affects these stresses in a different way. It was also found that the layers with $\pm 45^{\circ}$ fiber orientation angle with respect to the joints axis bear greater stresses, and are more ductile than the same joints with $0,90^{\circ}$ fiber orientation angle. The results of the numerical simulation showed that there are differences in the values of the stresses generated in the perimeter of the hole as a result of canceling the simplification hypotheses in the stress calculation law, and also showed greater sensitivity in detecting local failures than that observed on the changes in the load-elongation curve.

Keywords: composite materials, glass fibers, carbon fibers, epoxy resin, single lap joints, Ansys numerical simulation.

1. مقدمة.

ازدادت في العقود الأخيرة نسبة المواد المركبة الداخلة في صناعة هياكل الطائرات، وبلغت هذه النسبة حوالي 53% في طائرة Airbus A350XWB ، وحوالي 60% في طائرة Boing 787 [1]. أدت هذه الزيادة إلى زيادة عدد مناطق الارتباط بين القطع المصنعة من المواد المركبة والقطع المصنعة من سبائك الألمنيوم. ويؤدي اختلاف الخصائص والسلوك الميكانيكي بين المواد المركبة وسبائك الألمنيوم إلى صعوبة توقع السلوك الميكانيكي في منطقة الارتباط بين هذه المواد. وتُعدّ الوصلات الميكانيكية الأكثر استعمالاً في هياكل الطائرات لأنها غير دائمة وسهلة الفك والتركيب [1].

نُشرت العديد من الدراسات حول مقاومة الوصلات الميكانيكية الهجينة مواد مركبة - معدن، وتحليل انهيارها، والعوامل المؤثرة فيه. عام 1984، نشر Fu-kuo Chang وزملاؤه دراسة حول انهيار صفائح المواد المركبة المثبتة بمحور حامل (Pin loaded)، حيث استعملوا طريقتين، الأولى تحليلية، والثانية بطريقة العناصر المنتهية [2].

عام 1985، قام M.W.Hyer و E.C.Klang بإجراء دراسة حول إجهادات التماس بين المحاور والثقوب في صفائح المواد المركبة، وحول تأثير مرونة المحور، والاحتكاك، والخلوصات على توزع الإجهادات على محيط الثقب. أظهرت النتائج أن مرونة المحور ليست ذات تأثير يذكر مقارنة بتأثير الخلووص والاحتكاك [3].

في عام 2000، تناول Buket Okutan و Zuleyha Aslan و Ramazan Karakuzu دراسة تأثير معاملات الشكل الهندسي على مقاومة الانهيار في الوصلات الميكانيكية الهجينة مواد مركبة مقواة بالألياف المنسوجة- معدن. اشتملت معاملات المدروسة على نسبة عرض W عينة الوصلة إلى قطر D ثقب الوصلة (W/D)، ونسبة بعد مركز الثقب E عن حافة العينة إلى قطر الثقب (E/D). أظهرت النتائج التجريبية أن زيادة النسبة (E/D) أكثر من 2، وزيادة النسبة (W/D) أكثر من 3 يزيل تأثير هذه المعاملات على مقاومة الانهيار [4]. في عام 2003، قام H.A.Whitworth وزملاؤه

بإعادة إجراء الدراسة التي قام بها Chang وزملاؤه بعد تطور برمجيات حساب الإجهادات بطريقة العناصر المنتهية، وكانت نتائج دراستهم أكثر تطابقاً مع الاختبارات التجريبية المتوفرة [5]. في عام 2005، قام Y. Xiao وفريق عمل من الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء بإجراء دراسة حول تأثير استعمال نوعين مختلفين من المادة الرابطة البوليميرية المقواة بالألياف الكربونية على المقاومة الميكانيكية في ثقب البراغي [6]. في عام 2006، قام P.P.Camanho و M.Lambert بدراسة لتحديد حد المرونة، ونمط الإنهيار في الوصلات الميكانيكية للمواد المركبة عن طريق تطوير معيار الإجهاد الأعظمي، ومقارنة النتائج مع الاختبارات التجريبية. كانت النتائج متطابقة في الطريقتين في حالة وصلات التراكب المزدوج (Double lap)، والوصلات المثبتة بمحاور حاملة [7]. في عام 2012، قام Álvaro Olmedo و Carlos Santiuste بتطوير دراسة Chang للإنهيار كي تتناسب مع الوصلات أحادية التراكب (Single lap)، كما طوراً أيضاً نموذج العناصر المنتهية لمراعاة الخصائص غير الخطية لمواد الوصلة. ثم أجريا مقارنة النتائج مع نتائج الاختبارات التجريبية، وحصلوا على تطابق كبير بينهما [8]. في عام 2014، أجرى Waruna P. Seneviratne و John S. Tomblin من المعهد الوطني الأمريكي لأبحاث الطيران وتمويل من الوكالة الفيدرالية للطيران (FAA) بحثاً لمنح شهادات وثوقية (Certification) للوصلات الهجينة مواد مركبة - معدن، وذلك باستعمال معامل تعزيز الحمولة (Load Enhancement Factor)، من أجل تجنب الإنهيار الحاصل نتيجة التعب (Fatigue)، أو التآكل (Corrosion)، أو نمو الشقوق (Crack growth) أثناء فترة خدمة الطائرة. وبهذه الطريقة، جرى تقليل زمن الاختبارات وكلفتها مع اعتبار سلامة الطيران ذات الأولوية القصوى [9]. أما في عام 2015، درس T. L. Yogesh و N. Arunkumar الفرق بين أنماط انهيار الوصلات الميكانيكية والملصوقة والمزدوجة بين المواد المركبة وسبائك الألومنيوم. جرى استعمال نوعين من

اللواصق، أحدهما ذو أساس أكريلي والآخر مطاطي، كما جرى اختبار العينات باستعمال اختبار الشد. أظهرت النتائج أن استعمال المطاط في الوصلة المزوجة الميكانيكية والملصوقة يعطي أفضل أداء مقارنة بباقي أنواع الوصلات [10].

أما في عام 2016، تناول Boris Fedulov وزملاؤه دراسة السلوك غير الخطي للمواد المركبة ذات الثقوب المعرّضة لإجهادات قص مستوية. وقد تبين أن المواد المركبة تظهر سلوكاً لاخطياً في منحنى الإجهاد - تشوه عند التحميل بحمولات قص مستوية، حتى عند الحمولات المنخفضة نسبياً التي يفترض أن يكون السلوك عندها خطياً مرناً في المنحني. من جهة أخرى، فقد درسوا تأثير اللاخطية على تركيز الإجهادات في الثقوب، وقاموا بمقارنة الاختبارات التجريبية لعينة تتعرض للضغط ونموذجها التحليلي الموضوعين. أظهرت النتائج أنه على الرغم من تساوي الحمولة الحديدية في النموذجين الخطي واللاخطي، فإن الإجهاد الناتج وتوزيع التشوه في محيط الثقب يختلفان بين الحالتين [11].

2. المشكلة العلمية في البحث.

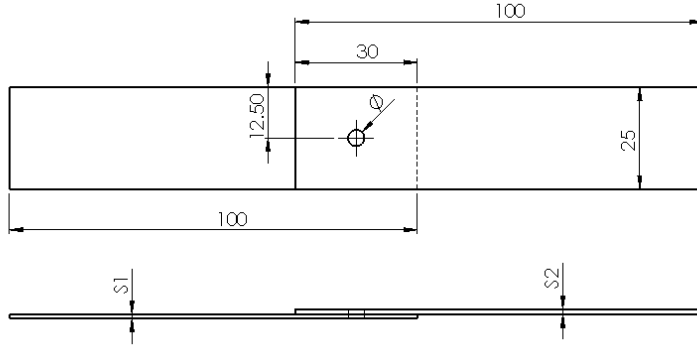
تناول هذا البحث دراسة إجهاد انهيار الوصلات الهجينة أحادية التراكب مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم الداخلة في صناعة هياكل الطائرات، وتحديد تأثير كل من زاوية توجه ألياف المادة المركبة في الوصلة، ونوع الألياف المنسوجة المستعملة، وسماكة صفيحة الألومنيوم فيها، وقطر ثقب الوصلة على إجهاد بداية الانهيار، والإجهاد الأعظمي الذي تتحملة الوصلة. كما اشتملت هذه الدراسة على إجراء المحاكاة العددية لهذه الوصلات من أجل تحديد إجهاد بداية الانهيار، والإجهاد الأعظمي باستخدام برنامج Ansys Workbench، ومقارنة نتائج المحاكاة العددية مع الاختبارات التجريبية لاستقصاء إمكانية الاعتماد على المحاكاة العددية في تحديد متانة الوصلات دون الحاجة إلى تكرار الاختبارات التجريبية.

3. طرائق البحث.

- اختبار الشد على المواد المركبة والوصلات الهجينة.

جرى في هذ البحث تصنيع عينات اختبار الشد من المواد المركبة لتحديد الخواص الميكانيكية الأساسية لهذه المواد. كانت المواد المركبة المحضرة عبارة عن 3 طبقات من الألياف مع الإيبوكسي كمادة رابطة. وكان الإيبوكسي المُستعمل من شركة Huntsman، طراز Araldite®LY 5052، مع المقسي طراز Aradur® HY 5052 مع نسبة مزج 100 إلى 50 على الترتيب. فيما يتعلق بالألياف، استُعملت ألياف الزجاج S من شركة Intergls، سماكة النسيج 0.35 mm، ووزن واحدة المساحة 280 g.m⁻²، وألياف الكربون KDK 8043/120 من شركة Sigratex، سماكة النسيج 0.35 mm، ووزن واحدة المساحة 240 g.m⁻².

جرى تحضير عدد من مجموعات الوصلات الهجينة أحادية التراكب مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم، وتضمنت كل مجموعة 5 عينات ذات توجه ألياف ⁰45,+45 و 5 عينات ذات توجه ألياف ⁰90، وفقاً للمخطط الموضح في الشكل رقم (1). في تحضير المواد المركبة، جرى استعمال مادة تقوية من 3 طبقات من ألياف الزجاج، أو 3 طبقات من ألياف الكربون، أو تهجينهما معاً، ومادة رابطة من الإيبوكسي. كانت صفائح الألومنيوم المستعملة مصنعة من خليطة T3-2024، وتتراوح سماكتها بين 0.8-1.2 mm. واستُعملت تباشيم الطرق المصنعة من خليطة V65 التي تمتاز بمقاومة عالية للقص. يوضح الشكل رقم (1) مخطط الوصلات الهجينة مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم، والجدول رقم (1) مواصفات الوصلات المنفذة.



الشكل رقم (1): مخطط الوصلات الهجينة مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم.

الجدول رقم (1): مواصفات الوصلات الهجينة مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم.

| المجموعة | نوع الألياف | سماعة صفيحة المواد المركبة S ₁ (mm) | سماعة صفيحة الألومنيوم S ₂ (mm) | قطر ساق التبشيمة φ (mm) |
|-----------|-----------------------------|--|--|-------------------------------|
| RV65GA11 | ألياف الزجاج | 0.7 | 0.8 | 3 |
| RV65GA12 | ألياف الزجاج | 0.7 | 1 | 3 |
| RV65GA13 | ألياف الزجاج | 0.7 | 1.2 | 3 |
| RV65GA14 | ألياف الزجاج | 0.7 | 0.8 | 4 |
| RV65GA15 | ألياف الزجاج | 0.7 | 0.8 | 5 |
| RV65CGAI6 | ألياف الزجاج- ألياف الكربون | 0.9 | 0.8 | 3 |
| RV65CAI7 | ألياف الكربون | 1 | 0.8 | 3 |

جرى تنفيذ اختبار الشد باستعمال جهاز الاختبارات الميكانيكية العامة مع التحكم الحاسوبي على المواد المركبة عن طريق تثبيت طرفي العينة بين فكي آلة الشد، وتطبيق

إزاحة على الطرف العلوي، وعلى الوصلات عن طريق تثبيت صفيحة الألومنيوم، وتطبيق إزاحة على صفيحة المواد المركبة في الوصلة الهجينة، كما يوضح الشكل رقم (2). في كل اختبار، يجري إدخال أبعاد العينة، وتثبيت سرعة إزاحة الشد عند 2mm/min.



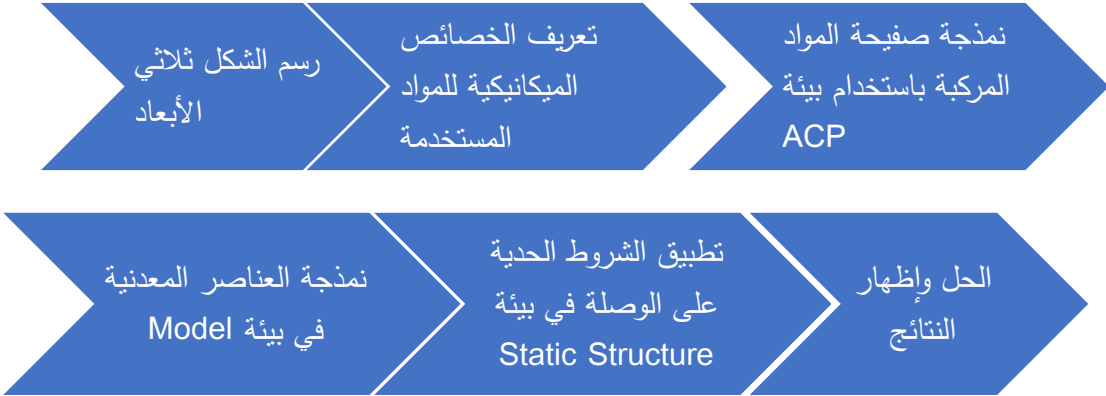
الشكل رقم (2): تنفيذ اختبار الشد في الوصلة الهجينة مادة مركبة - سبيكة ألومنيوم. يُمكن جهاز الاختبارات الميكانيكية من الحصول على منحنى الحمل-الاستطالة. ومن خلاله، يُمكن حساب مقاومة الشد، ومعامل يونغ، والتشوه عند الكسر للمواد المركبة، وإجهادات التشوه في الثقوب (Bearing stress) للوصلات الهجينة من خلال تطبيق العلاقة:

$$\sigma_b = F/D.t$$

حيث: σ_b إجهاد تشوه الثقوب (MPa)، F الحمل (N) عند انهيار الوصلة، D قطر التثبيت (mm)، t سماكة صفيحة المواد المركبة (mm).

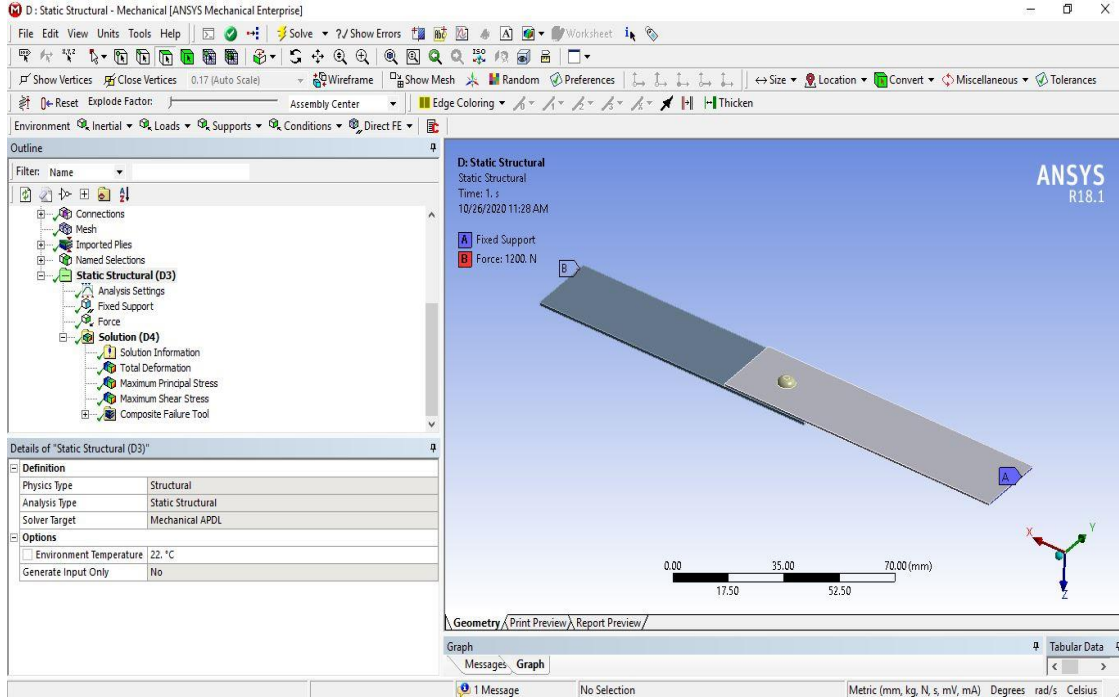
- المحاكاة العددية للوصلة الهجينة.

تقوم فكرة المحاكاة العددية على استعمال برنامج حاسوبي في حساب الإجهادات والتشوهات الناتجة في القطعة المُختبرة عن طريق حل معادلات المرونة المُتمثلة لحالات التحميل على القطعة بطريقة عددية من خلال تقطيع القطعة إلى عددٍ كبيرٍ من العناصر المنتهية. لذلك، تسمى هذه الطريقة بطريقة العناصر المنتهية (Finite Element Analysis). يقوم البرنامج بحل المعادلات التفاضلية الجزئية المُعبّرة عن تغير الشروط الحدية حول العناصر المقطعة، ومن ثم مكاملة التغيرات على كامل القطعة. يُمثّل الشكل رقم (3) تسلسل خطوات المحاكاة العددية، ويوضح الشكل رقم (4) واجهة المُستخدم لبرنامج (ANSYS Workbench).



الشكل رقم (3): خطوات المحاكاة العددية للوصلة الهجينة مادة مركبة - سبيكة ألومنيوم.

الوصلات الهجينة أحادية التراكب مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم في هيكل الطائرات: دراسة تجريبية ومحاكاة عددية



الشكل رقم (4) واجهة المستخدم لبرنامج ANSYS Workbench

تم إجراء محاكاة عددية لمجموعة الوصلات مادة مركبة - سبيكة ألومنيوم RV65CAI7 عند حمولة 1200 N و 600 N.

4. النتائج والمناقشة.

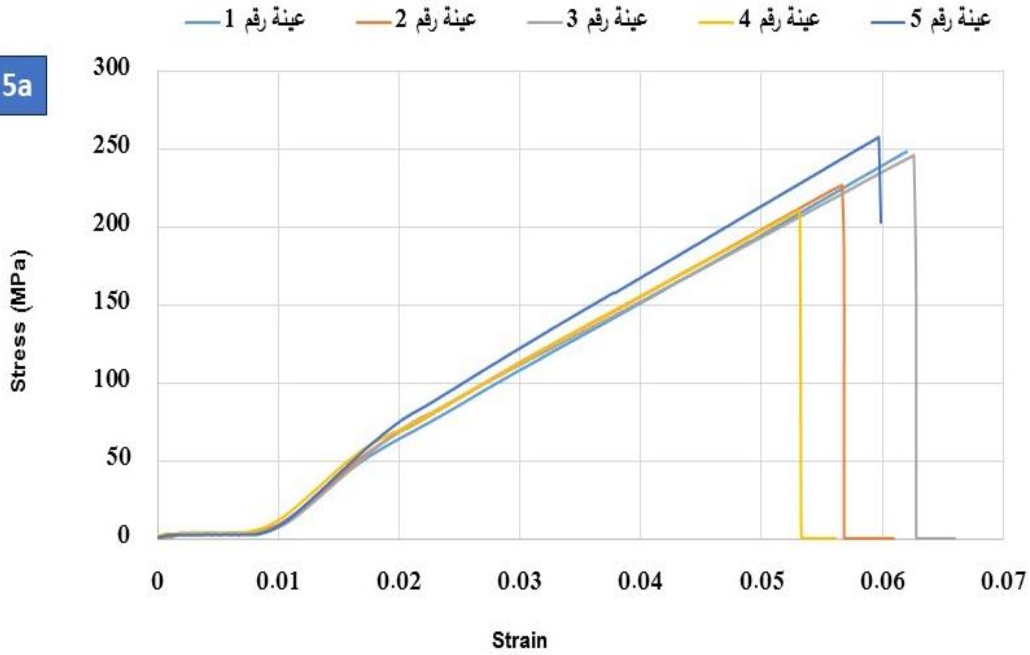
- نتائج اختبار الشد للمواد المركبة.

يعطي الشكل رقم (5a-5c) مخططات الحمولة - استئالة لمجموعات المواد المركبة التي جرى اختبارها.

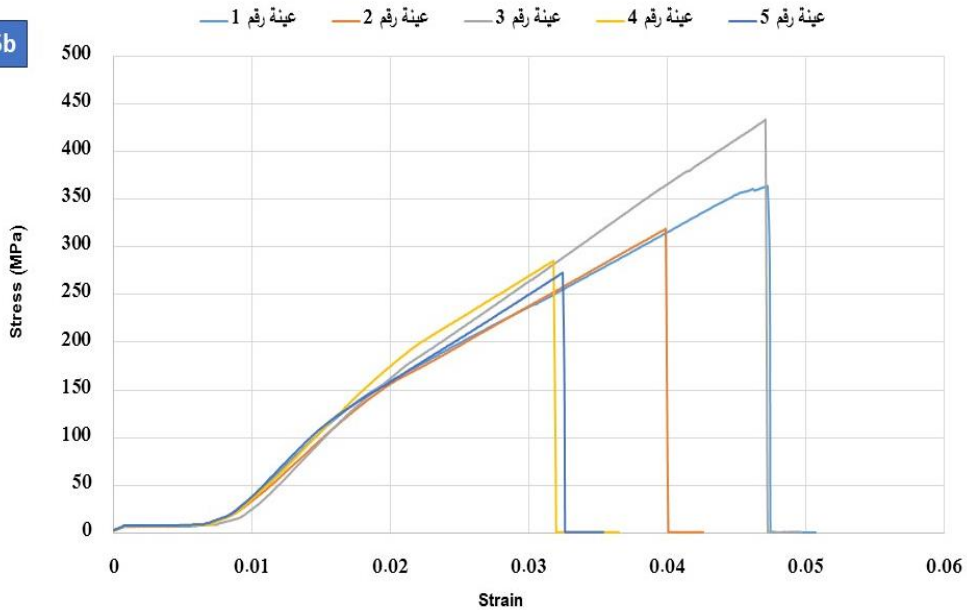
ويُبين الشكل (5a-5c) سلوكاً شبه خطي لمجموعات المواد المركبة التي جرى اختبارها، ويسمح باستنتاج معامل يونغ، وإجهاد الكسر لكل مجموعة.

في حين يوضح الجدول رقم (2) المتوسط الحسابي لنتائج اختبار الشد لكل نوع من المواد المركبة المحضرة.

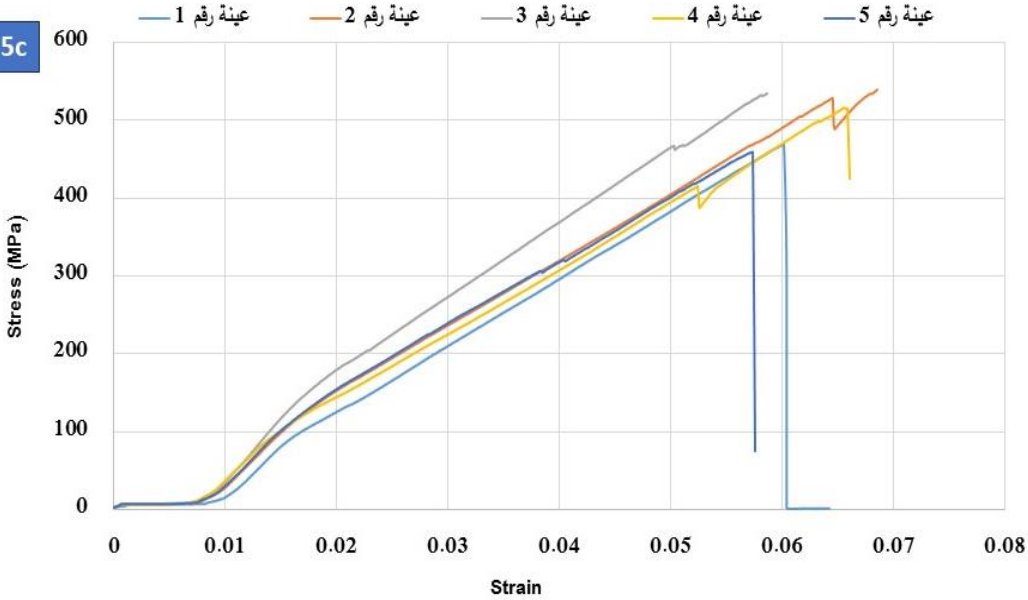
5a



5b



5c



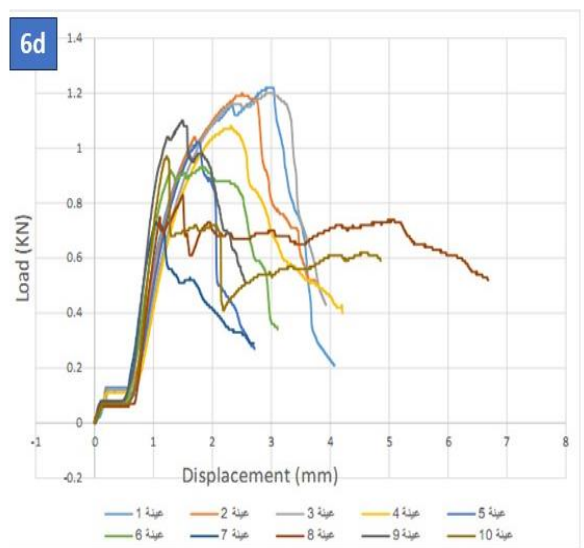
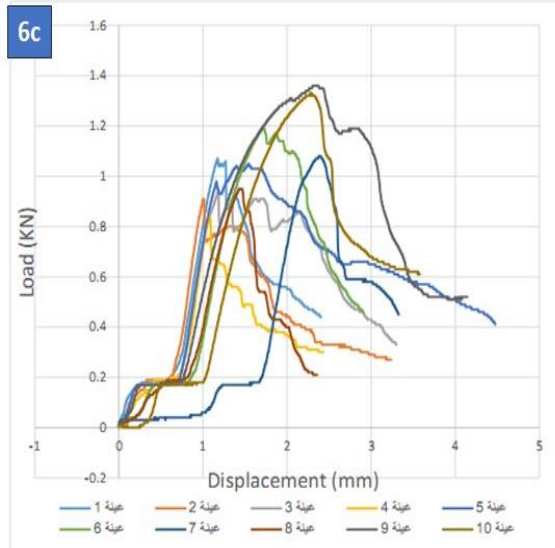
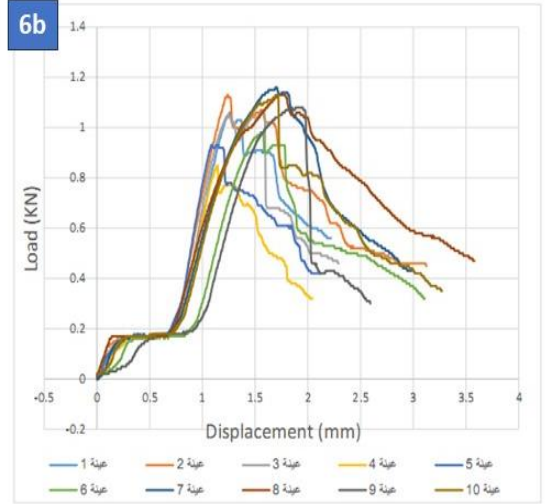
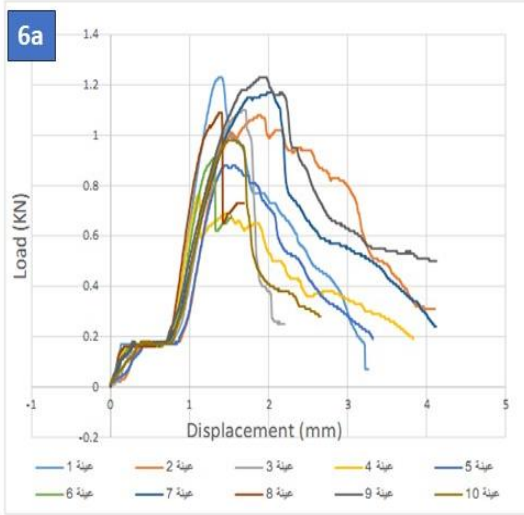
الشكل 5: (5a) 3 طبقات ألياف زجاج- إيبوكسي (5b): 2 طبقة ألياف زجاج-
1 طبقة ألياف كربون- إيبوكسي (5c): 3 طبقات ألياف كربون- إيبوكسي.

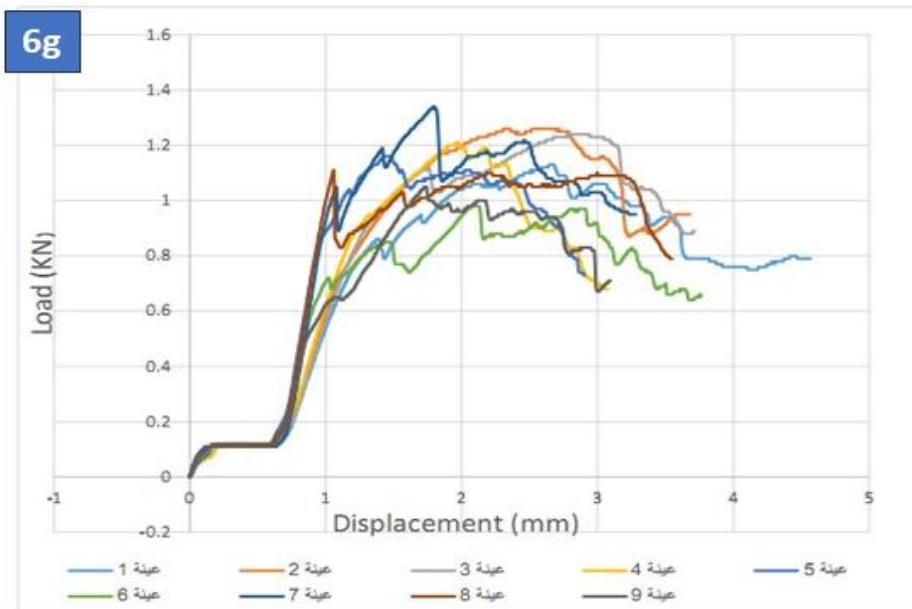
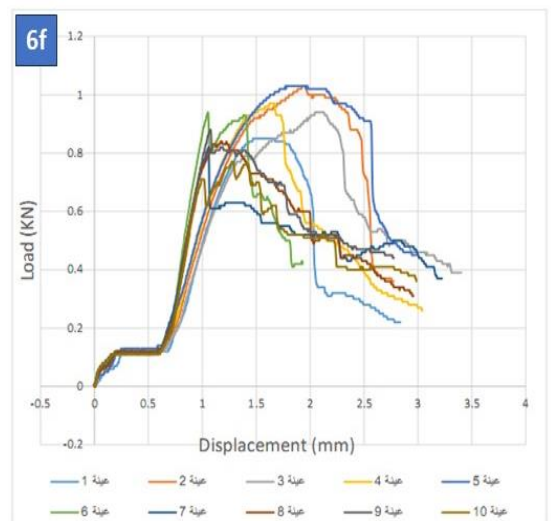
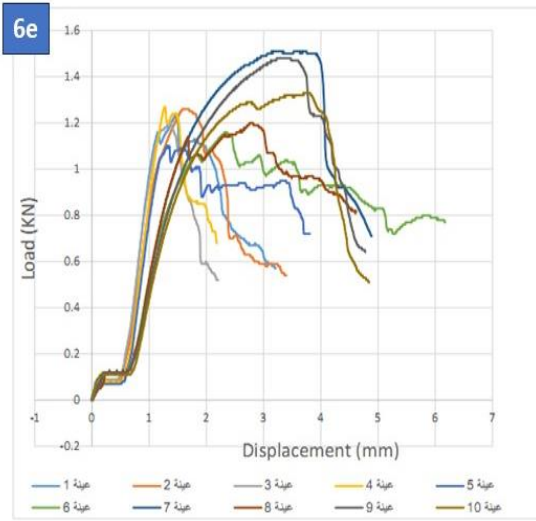
الجدول رقم (2): نتائج الخصائص الميكانيكية الأساسية للمواد المركبة
المحضرة.

| الخاصة | 3 طبقات ألياف زجاج- إيبوكسي | 2 طبقة ألياف زجاج- 1 طبقة ألياف كربون- إيبوكسي | 3 طبقات ألياف كربون- إيبوكسي |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------------------|
| معامل يونغ (MPa) | 6560±355 | 14000±632 | 15000±725 |
| معامل القص (MPa) | 1650±118 | 3400±235 | 3600±190 |
| معامل بواسون | 0.3 | 0.28 | 0.28 |
| مقاومة الشد (MPa) | 237±18.2 | 335±24.3 | 500±36 |
| مقاومة القص (MPa) | 80±5.52 | 75±4.7 | 95±7.1 |

- نتائج اختبار الشد لمجموعات الوصلات الهجينة.

يوضح الشكل رقم (6) مخططات الحمولة - استطالة لمجموعات الوصلات الهجينة التي جرى اختبارها.





الشكل رقم (6): مخططات الحمولة - استطالة لمجموعات الوصلات الهجينة المختبرة في الجدول رقم (1).

يوضح الجدول رقم (3) المتوسط الحسابي لحمولة بداية الانهيار، وإجهاد بداية الانهيار، والحمولة الأعظمية، والإجهاد الأعظمي لكل مجموعة من مجموعات الوصلات الهجينة المختبرة.

الجدول رقم (3): الحمولات والإجهادات في الوصلات الهجينة.

| المجموعة المختبرة | حمولة بداية الانهيار (N) | إجهاد بداية الانهيار (MPa) | الحمولة الأعظمية (N) | الإجهاد الأعظمي (MPa) |
|-------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| RV65GAI1 | 977 | 424 | 1045 | 457 |
| RV65GAI2 | 985 | 432 | 1051 | 460 |
| RV65GAI3 | 1007 | 441 | 1072 | 470 |
| RV65GAI4 | 910 | 299 | 1033 | 338 |
| RV65GAI5 | 1136 | 299 | 1268 | 334 |
| RV65CGAI6 | 840 | 311 | 907 | 336 |
| RV65CAI7 | 911 | 337 | 1165 | 431 |

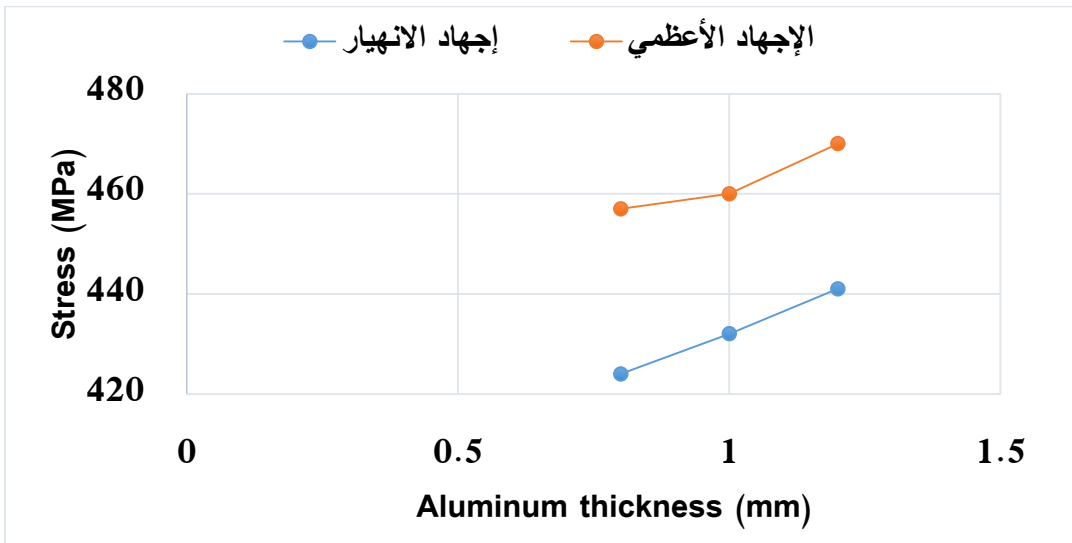
عند تفحص منحنيات الحمولة - استطالة لعينات الوصلات الهجينة المختبرة، يلاحظ حدوث انهيار في بعض عينات المجموعة نفسها عند حمولات أقل نسبياً من مثيلاتها ويرتبط ذلك بحالة التطريق الزائد على رأس التبشيمة أثناء إعداد الوصلة، مما يؤدي إلى إجهادات ضغط مسبق في صفيحة المواد المركبة على محيط النقب، وبالتالي التأثير على حمولة انهيارها.

في بداية الانهيار، أظهرت جميع العينات انهياراً من نمط تشوه الثقب (Bearing)، ومع زيادة تطبيق القوة، تطور إلى انهيار القص (Shear-out).

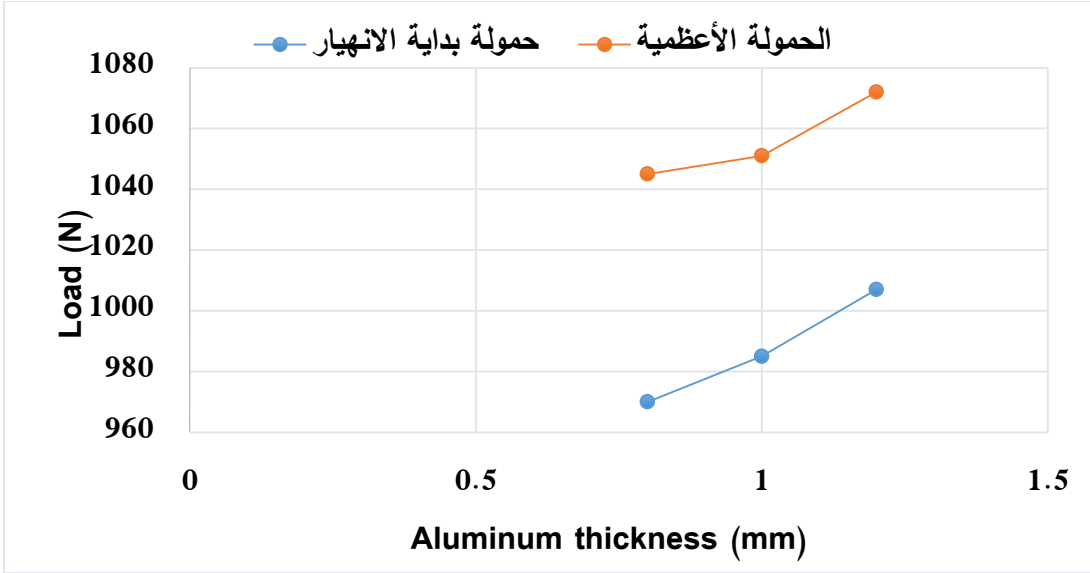
كان سلوك جميع العينات شبه خطي حتى حدوث الانهيار الأولي، ومع زيادة تطبيق القوة، اختلف سلوك مجموعات الوصلات من حيث ميل المنحني، والاستطالة الإضافية حتى الانهيار الكامل. ومن خلال تدقيق منحنيات كل مجموعة على حده، يلاحظ أن العينات ذات توجه ألياف $\pm 45^0$ تمتلك سلوكاً أكثر مطيلية من العينات نفسها ذات توجه ألياف $0,90^0$. ويعود السبب في ذلك إلى أن شعاع تطبيق الحمولة يكون على محور الألياف ذات التوجه $0,90^0$ ، مما يسبب تحنياً موضعياً وتكسراً مبكراً للألياف في هذه المنطقة.

1.4. تأثير سماكة صفيحة الألومنيوم.

يظهر الشكل رقم (7) ورقم (8) على الترتيب تغير الإجهاد الأعظمي وإجهاد الانهيار في محيط ثقب الوصلة وتغير الحمل الأعظمي وحمل الانهيار عليها مع تغير سماكة صفيحة سبيكة الألومنيوم في الوصلة.



الشكل رقم (7): تغير الإجهاد الأعظمي وإجهاد الانهيار في محيط ثقب الوصلة مع تغير سماكة صفيحة سبيكة الألومنيوم.

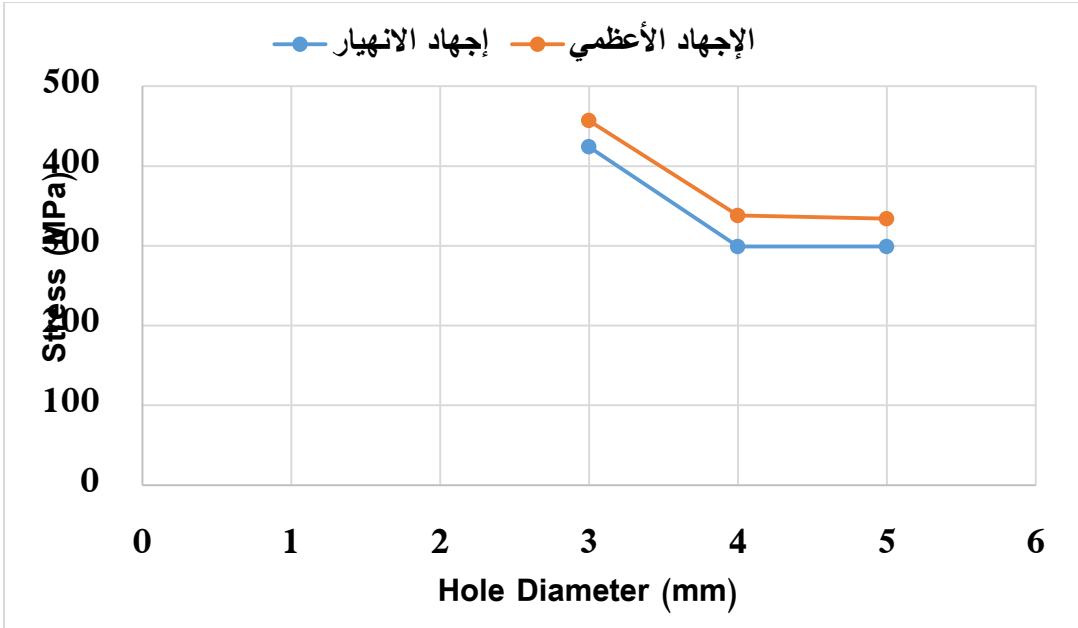


الشكل رقم (8): تغير الحمل الأعظمي وحمل الانهيار في محيط ثقب الوصلة مع تغير سماكة صفيحة سبيكة الألمنيوم.

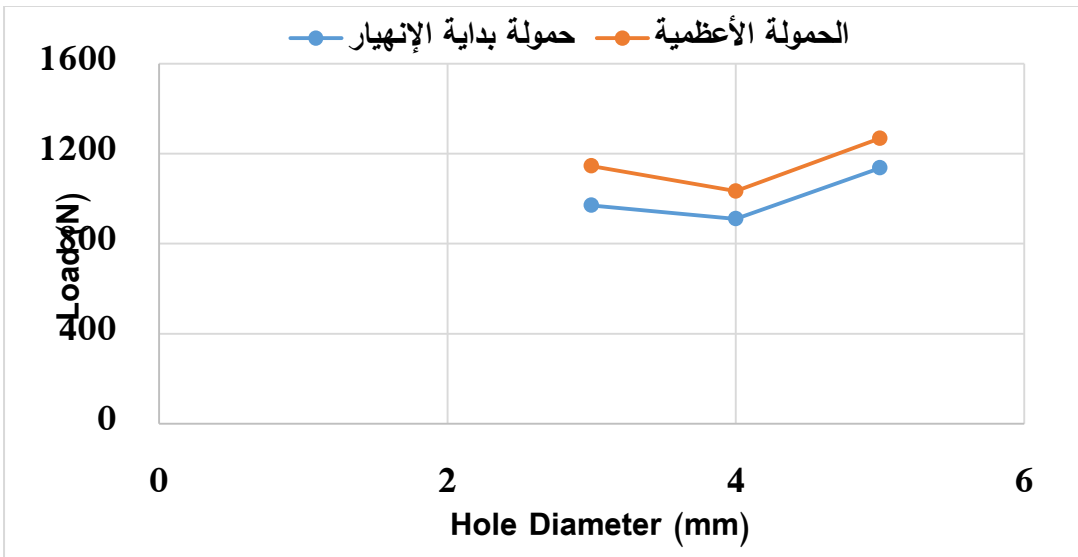
يلاحظ من الشكلين رقم (7) ورقم (8) ارتفاع الإجهادات والحمولات التي يمكن للوصلة تحملها بشكل طردي مع زيادة صغيرة في سماكة صفيحة سبيكة الألمنيوم في الوصلة. يعود السبب في ذلك إلى أن زيادة سماكة صفيحة سبيكة الألمنيوم يزيد من مقاومتها، مما يمنع عنصر الربط من الانعطاف عند تطبيق الحمولة، ويقلل حمولات الانعطاف في الثقب بشكل كبير، ويُبقي على حمولات قص صرف. وتحمل الصفائح الحمولات في مستويها بشكل أكبر بكثير من الحمولات خارجه. لذلك، تزداد مقاومة الوصلة بازدياد سماكة صفائح سبيكة الألمنيوم.

2.4. تأثير زيادة قطر الثقب.

يوضح الشكلان رقم (9) ورقم (10) على الترتيب تغير الإجهاد الأعظمي وإجهاد الانهيار في محيط ثقب الوصلة وتغير الحمل الأعظمي وحمل الانهيار عليها مع تغير قطر ثقب الوصلة.



الشكل رقم (9): تغير الإجهاد الأعظمي وإجهاد الانهيار في محيط ثقب الوصلة مع تغير قطر الثقب.

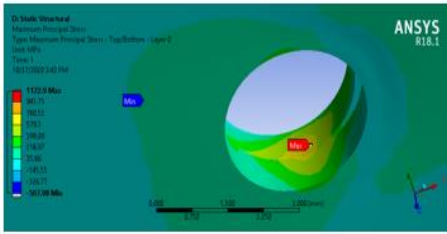


الشكل رقم (10): تغير الحمل الأعظمي وحمل الانهيار في محيط ثقب الوصلة بتغير قطر الثقب.

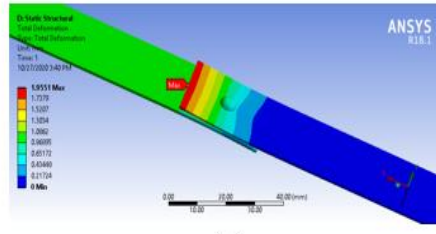
يلاحظ من خلال الشكلين رقم (9) ورقم (10)، أن حمولات الانهيار تزداد مع زيادة قطر الثقب، لكن الإجهادات تختلف نتيجة اختلاف مساحة تطبيق الحمولة. يلاحظ أيضاً أن حمولات الانهيار تكون أعظمية في الوصلات ذات ثقوب أقطارها 5mm، بينما تكون إجهادات الانهيار والإجهادات الأعظمية التي تتحملها الوصلة أعظمية في الوصلات ذات ثقوب أقطارها 3mm.

3.4. نتائج المحاكاة العددية عند حمولة 1200 N.

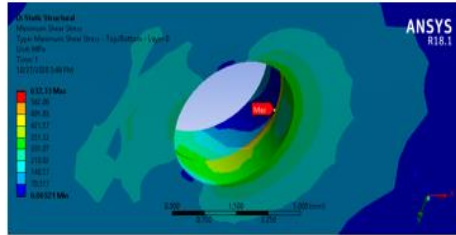
يعطي الشكل رقم (11) نتائج المحاكاة العددية لوصلة هجينة مادة مركبة- سبيكة ألومنيوم عند حمولة 1200 N.



(b)



(a)



(c)

الشكل رقم (11): نتائج المحاكاة العددية لوصلة هجينة مادة مركبة- سبيكة ألومنيوم عند حمولة 1200 N. (a): الاستطالة الاجمالية في الوصلة، (b): الإجهادات الناعمة، (c) إجهادات القص.

- الاستطالة الإجمالية للوصلة.

تساوي قيمة الاستطالة الإجمالية (متعددة الاتجاهات) في الوصلة 1.9551 mm، وتساوي قيمة الاستطالة المحورية 1.087 mm. تتفق هذه النتيجة مع النتائج التجريبية لهذه المجموعة من الوصلات الموضحة سابقاً في الشكل رقم (6)، حيث تتراوح قيم الاستطالة المحورية للوصلات بين 1.00 - 1.5 mm للعينات ذات توجه الألياف $(0,90^\circ)$.

- الإجهادات الأساسية الأعظمية.

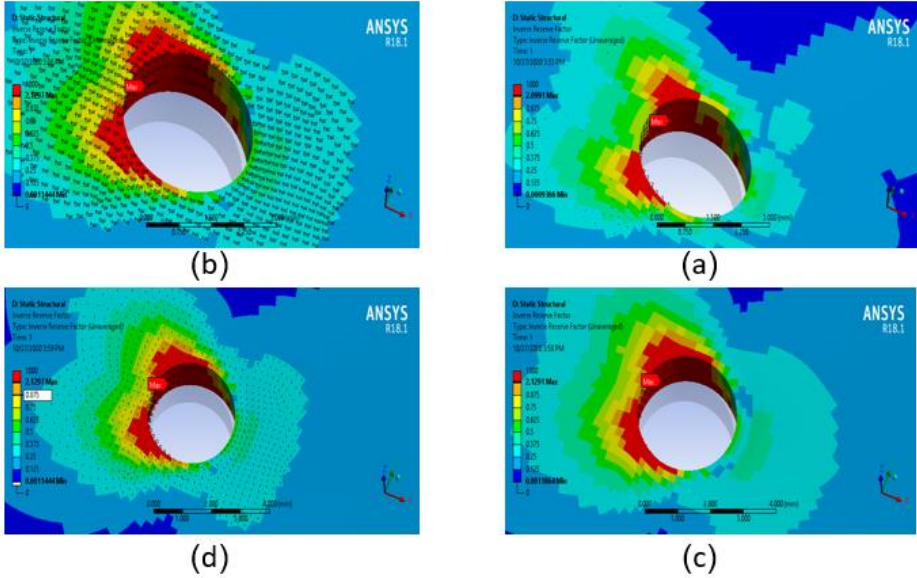
بلغت أعظم قيمة للإجهادات الرئيسية 760 MPa، وهذه القيمة أعلى من القيم المحسوبة من المنحنيات التجريبية التي تساوي 445 MPa. يرجع سبب هذا الاختلاف إلى أن العلاقة المستخدمة في حساب الإجهاد في الطريقة التجريبية لا تأخذ انعطاف عنصر الربط بعين الاعتبار، وهذا ما يخالف الواقع، حيث يقوم رأس التيشيمة بالضغط على الصفيحة بشكل عمودي على مستويها، مما يخلق حالة من الإجهادات المركبة على محيط الثقب.

- إجهاد القص على محيط الثقب.

تبلغ القيمة الأعظمية لإجهاد القص 562 MPa في منطقة التماس بين صفيحة المواد المركبة وصفيحة سبيكة الألومنيوم، بينما تبلغ قيمه في محيط الثقب بعيداً عن منطقة التماس 420 MPa، وهي قيمة أقل من أن تُحدث انهيار قص (Shear-Out) في المادة المركبة.

- معايير انهيار صفيحة المواد المركبة.

يحدث الانهيار في صفيحة المواد المركبة عندما يصبح معامل الانهيار $e > 1$.
وتختلف معايير الانهيار في طريقة حساب المعامل e والمعاملات التي تؤثر في حسابه.
يعطي الشكل رقم (12) معامل الانهيار وفق معايير الإجهاد الأعظمي، Tsi-Wu،
Tsi-Hill، Hoffman [12]. عند حمولة 1200 N.



الشكل رقم (12): توزيع معامل الانهيار عند حمولة 1200 N.

(a) الإجهاد الأعظمي، (b) Tsi-Wu، (c) Tsi-Hill، (d) Hoffman.

يوضح الجدول رقم (4) قيمة معامل الانهيار e في معايير الانهيار الأساسية [12] عند حمولة 1200 N.

الجدول رقم (4): قيمة معامل الانهيار e في معايير الانهيار الأساسية عند حمولة 1200 N.

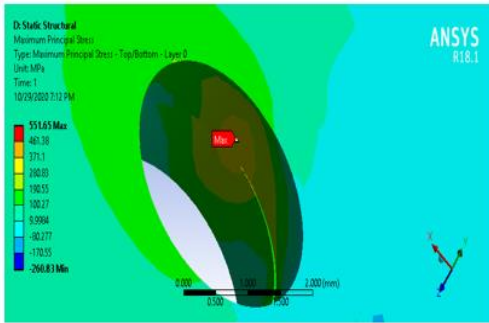
| Hoffman | Tsi-Hill | Tsi-Wu | الإجهاد الأعظمي | معياري الانهيار |
|---------|----------|--------|-----------------|-----------------|
| 2.1297 | 2.1291 | 2.1297 | 2.0991 | معامل الانهيار |

يُظهر الجدول رقم (4) أن قيم معامل الانهيار في المعايير التي تعتمد على الإجهادات الأعظمية في المادة المركبة متساوية تقريباً وهي بحدود 2.1، وقد أظهر الشكل رقم (12) توزيعاً متشابهاً لمناطق محيط الثقب المتوقع حصول انهيار فيها، مع اختلافات طفيفة في المناطق الانتقالية.

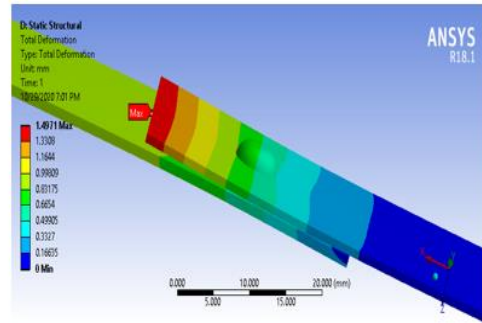
بما أن جميع الوصلات المختبرة انهارت عند حمولة أقل من 1200 N، فإن نتائج اختبار الشد للوصلات تنسجم مع نتائج المحاكاة العددية.

4.4. نتائج المحاكاة العددية عند حمولة 600 N.

يعطي الشكل رقم (13) نتائج المحاكاة العددية لوصلة هجينة مادة مركبة- سبيكة ألومنيوم عند حمولة 600 N.



(b)



(a)

الشكل رقم (13): نتائج المحاكاة العددية لوصلة هجينة مادة مركبة- سبيكة ألومنيوم عند حمولة 600 N

(a): الاستطالة الإجمالية في الوصلة، (b): الإجهادات الناظمية.

- الاستطالة الإجمالية للوصلة.

يُظهر الشكل رقم (13) أن قيمة الاستطالة الإجمالية (متعددة الاتجاهات) في الوصلة تساوي 1.4971mm، وأن قيمة الاستطالة المحورية تساوي 0.998 mm. تتفق هذه النتيجة مع النتائج التجريبية لهذه المجموعة من الوصلات الموضحة سابقاً في الشكل رقم (6)، حيث تتراوح قيم الاستطالة المحورية للوصلات بين 0.8-1.0 mm للعينات ذات توجه الألياف (0,90).

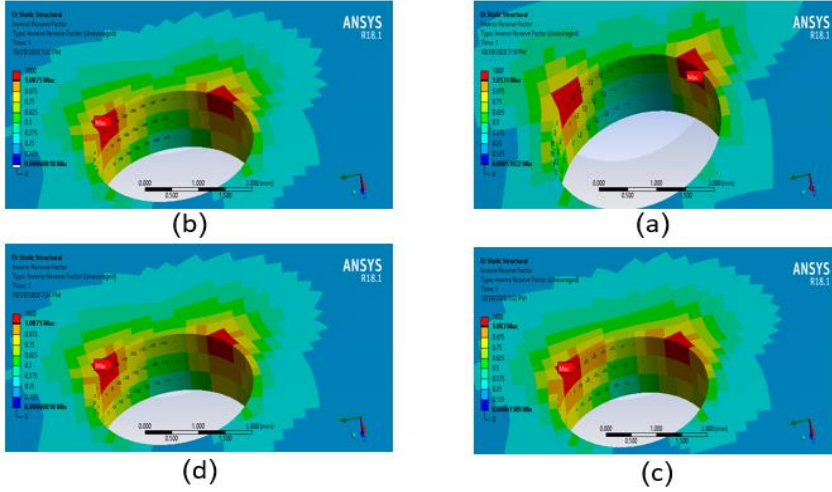
- الإجهادات الأساسية الأعظمية.

إن أعظم قيمة للإجهادات الرئيسية تساوي 371 MPa، وهذه القيمة أعلى من القيم المحسوبة من المنحنيات التجريبية التي تساوي 222 MPa. يرجع سبب هذا الاختلاف إلى أن القانون المستخدم في الحسابات التجريبية لا يأخذ انعطاف عنصر الربط بعين الاعتبار وهذا ما يخالف الواقع، حيث يقوم رأس التبشيمة بالضغط على الصفيحة بشكل عمودي على مستويها، مما يخلق حالة من الإجهادات المركبة على محيط الثقب.

- معايير انهيار صفيحة المواد المركبة.

يوضح الشكل رقم (14) معامل الانهيار وفق معايير الإجهاد الأعظمي، Tsi-Wu،

Tsi-Hill، Hoffman [12] عند حمولة 600 N.



الشكل رقم (14): توزيع معامل الانهيار عند حمولة 600 N.

(a) الإجهاد الأعظمي، (b) Tsi-Wu، (c) Tsi-Hill، (d) Hoffman.

يوضح الجدول رقم (5) قيمة معامل الانهيار e بحسب معايير الانهيار الأساسية عند قوة 600 N.

الجدول رقم (5): قيمة معامل الانهيار e بحسب معايير الانهيار الأساسية عند قوة 600 N.

| Hoffman | Tsi-Hill | Tsi-Wu | الإجهاد الأعظمي | معييار الانهيار |
|---------|----------|--------|-----------------|-----------------|
| 1.0875 | 1.0830 | 1.0875 | 1.0531 | معامل الانهيار |

يظهر الشكل رقم (14) توزيعاً متشابهاً لمناطق محيط الثقوب المتوقع حصول انهيار فيها مع اختلافات طفيفة في المناطق الانتقالية. وعند الحمولة 600 N تقريباً، يبدأ، وفقاً لمعايير الانهيار، حدوث الانهيار في الطبقة العلوية لصفحة المادة المركبة المعرضة لضغط رأس التبشيمة، حيث أن معامل الانهيار أعلى قليلاً من 1. لكن منحنيات الحمولة - استطالة للاختبارات التجريبية لم تُظهر مؤشراً على حدوث انهيار على محيط

الثقب عند حمولة 600 N، وكان متوسط حمولة بداية الانهيار حوالي 900 N. يشير ذلك إلى فرط في حساسية برنامج المحاكاة في كشف حدوث الانهيارات الدقيقة في طبقات المادة المركبة أو ما بينها على محيط الثقب، وبالمقابل إلى عدم كشف الانهيارات الموضوعية الدقيقة على محيط الثقب من خلال الاختبار الميكانيكي التجريبي للوصلة.

5. الاستنتاجات.

1.5. تأثير تغيير زاوية توجه الألياف في المادة المركبة.

بينت نتائج اختبارات الشد للوصلات الهجينة مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم أن تغيير زاوية توجه الألياف يؤثر بشكل ملحوظ على المقاومة النهائية للوصلة وتشوهها الأعظمي. كانت عينات الوصلات مع مواد مركبة ذات توجه ألياف ($\pm 45^\circ$) أعلى مقاومة وأكثر مطيلية من تلك العينات ذات توجه ($0,90^\circ$). ويرتبط ذلك بظاهرة تحنيب الألياف في منطقة الوصلة في العينات ذات توجه ($0,90^\circ$) نتيجة تطبيق بعض القوى بشكل مواز لمحور الليف.

2.5. تأثير زيادة سماكة صفيحة الألومنيوم.

بينت نتائج اختبارات الشد للوصلات الهجينة مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم أن زيادة سماكة صفيحة الألومنيوم تترافق مع زيادة الحملات والإجهادات التي تتحملها الوصلة بمعدل 10 MPa لكل 0.2 mm، يعود ذلك إلى أن زيادة سماكة صفيحة الألومنيوم تزيد متانتها، فتحد من الانعطاف الناتج عن عنصر الربط، وتُبقي حملات قصٍ صرف على صفيحة المواد المركبة.

3.5. تأثير زيادة قطر الثقب.

بينت نتائج اختبارات الشد للوصلات الهجينة مواد مركبة - سبيكة ألومنيوم أن زيادة قطر الثقب يؤدي إلى زيادة الحملات الأعظمية التي تتحملها الوصلة، وتناقص الإجهادات الأعظمية نتيجة زيادة سطح تطبيق القوة. وقد كانت الحملات أعظمية من أجل قطر الثقب المساوي 5 mm، بينما كانت الإجهادات أعظمية من أجل قطر الثقب المساوي 3 mm.

4.5. تأثير تغيير نوع الألياف.

بيّنت نتائج اختبارات الشد للوصلات الهجينة مواد مركبة - سبيكة ألمنيوم أن الوصلات مع مواد مركبة مقواة بألياف الزجاج أكثر تحملاً للإجهادات على محيط الثقب من مثيلاتها المقواة بألياف الكربون. كما بيّنت النتائج أن إقام طبقة ألياف الكربون بدلاً من طبقة ألياف الزجاج تؤدي إلى نتائج عكسية في المقاومة النهائية للوصلة نتيجة ظاهرة انفصال الطبقات بين طبقات ألياف الزجاج وطبقة ألياف الكربون.

5.5. نتائج المحاكاة العددية.

بيّنت نتائج المحاكاة العددية أن قيمة الاستطالة المحورية في محيط الثقب تقع ضمن مجال قيم الاستطالة الناتجة عن الاختبارات الميكانيكية التجريبية لعينات الوصلات الهجينة المشابهة. كما بيّنت أن قيم الإجهادات الأعظمية الرئيسية في محيط الثقب أكبر من القيم المحسوبة من الاختبارات الميكانيكية التجريبية. يعود ذلك إلى أن المحاكاة العددية تأخذ انعطاف عنصر الربط بعين الاعتبار عند حساب الإجهادات على محيط الثقب. بينما الطريقة التجريبية تفترض أن الحملات على عنصر الربط هي حمولات قص صرف.

بيّنت المقارنة بين نتائج المحاكاة العددية لسلوك الوصلات الهجينة ونتائج الاختبارات الميكانيكية التجريبية لهذه الوصلات أن المحاكاة العددية كشفت انهيارات موضعية في محيط الثقب لم تكن ظاهرة بشكل واضح في الطريقة التجريبية كونها لا تؤثر بشكل ملحوظ على الخصائص الميكانيكية الكلية للوصلة، مما يحول دون كشفها من خلال ملاحظة التغيرات في منحنى الحمولة - استطالة للاختبار الميكانيكي التجريبي للوصلة.

6. المراجع References

1. MRAZOVA. M, 2013- Advanced composite materials of the future in aerospace industry, **INCAS BULLETIN**, VOL. 5 (3), 139-150
2. CHANG. FK., SCOTT. RA., and SPRINGER. GS., 1984- Failure of Composite Laminates Containing Pin Loaded Holes—Method of Solution, **Journal of COMPOSITE MATERIALS**, VOL. 18, 255-278.
3. HYER. MW, and KLANG EC, 1985- CONTACT STRESSES IN PIN-LOADED ORTHOTROPIC PLATES, **Int. J. Solids Structures**, VOL. 21 (9), 957-975.
4. OKUTAN. B, ASLAN. ZL and KARAKUZU. R, 2001- A study of the effects of various geometric parameters on the failure strength of pin-loaded woven-glass-fiber reinforced epoxy laminate, **Composites Science and Technology**, VOL. 61 (2001), 1491–1497.
5. WHITWORTH. HA, OTHIENO. M, and BARTON. O, 2003- Failure analysis of composite pin loaded joints, **Composite Structures**, VOL. 59 (2003), 261–266.
6. XIAO. Y and ISHIKAWA. T, 2005- Bearing strength and failure behavior of bolted composite joints (part I: Experimental investigation), **Composites Science and Technology**, VOL. 65 (2005), 1022–1031.
7. CAMANHO. PP and LAMBERT. M, 2006- A design methodology for mechanically fastened joints in laminated composite materials, **Composites Science and Technology**, VOL. 66 (2006), 3004–3020.
8. OLMEDO. A and SANTIUSTE. C, 2012- On the prediction of bolted single-lap composite joints, **Composite Structures**, VOL. 94 (6), 2110-2117.

9. SENEVIRATNE. WP and TOMBLIN. JS, 2014- Certification of Composite-Metal Hybrid Structures, **FAA Joint Advanced Materials and Structures**, 1-5.
10. YOGESHA. TL and ARUNKUMARA. N, 2015- Failure Mode and Analysis of the Bonded/bolted Joints between a Hybrid Fiber Reinforced Polymer and Aluminum Alloy, **Journal of Advanced Materials and Processing**, VOL. 3 (2), 49-60.
11. FEDULOV. B, FEDORENKO. A, SAFONOV. A and LOMAKIN. E, 2016- Nonlinear shear behavior and failure of composite materials under plane stress conditions, **Acta Mech**, 1-8.
12. SOYKÖK. FI, 2012- FAILURE ANALYSIS OF BOLTED AND PINNED COMPOSITE JOINTS UNDER TEMPERATURE EFFECTS, **Doctoral Thesis. Philosophy in Mechanical Engineering, Mechanics Program. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University. IZMIR.**

مقارنة أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد في الوصلة الصاعدة باستخدام خوارزميات SIC

طالب دراسات عليا : محمد حليبه
كلية الهيك - جامعة: البعث
اشراف الدكتور: ياسر عمله

ملخص:

يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA (Power Domain Non-Orthogonal Multiple Access) من التقانات الواعدة لتحسين الفعالية الطيفية وتوفير استهلاك الاستطاعة في الأنظمة الخلوية، لكن يواجه مشكلة أثر انتشار الخطأ الناتج عن استخدام مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام الحالة العملية والأكثر واقعية في التطبيقات الحقيقية، حيث بينت نتائج المقارنة المقدمة في هذا البحث أثر مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام في تخفيض أداء معدل نقل المعطيات في الوصلة الصاعدة مقارنةً مع استخدام مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC التام. بهدف توفير استهلاك الطاقة في إرسال الوصلة الصاعدة في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة تم استخدام ثلاث خوارزميات لتخصيص الاستطاعة وفقاً لوجود أو عدم وجود قيود على استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة في الأجهزة. بينت نتائج المحاكاة تفوق أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة من حيث احتمال الانقطاع واستهلاك الاستطاعة في إرسال الوصلة الصاعدة، وأن الخوارزميات الثلاث لتخصيص الاستطاعة تُساهم في تخفيض أثر انتشار الخطأ لمستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام من حيث استهلاك الاستطاعة.

الكلمات المفتاحية: النفاذ المتعدد المتعامد، النفاذ المتعدد غير المتعامد، النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة، النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الترميز، حذف التداخل المتتالي، كاشف الخطأ الوسطي التريبيعي الأدنى، احتمال الانقطاع.

Study and Development Power Allocation in uplink NOMA system

Abstract:

Power Domain Non-Orthogonal Multiple Access PD NOMA is considered one of the promising technologies to improve spectral efficiency and save power consumption in cellular systems, but it faces the problem of the effect of error propagation resulting from the use of the imperfect Successive Interference Cancellation SIC receiver. The effect of imperfect SIC was shown by comparing the data rate performance in the uplink to the perfect SIC.

In order to reduce power consumption in the power domain non-orthogonal multi access power in uplink transmission, three algorithms were used to allocate power according to the presence or absence of constraints on the maximum available transmission power of the devices.

The simulation results showed that the performance of non-orthogonal multiple access outperforms in terms of the power consumption and outage probability in the uplink transmission, and that the three algorithms for power allocation contribute to reducing the effect of error propagation for the imperfect SIC receiver in terms of power consumption.

Keywords: orthogonal multiple access, non-orthogonal multiple access, power domain non-orthogonal multiple access, code domain non-orthogonal multiple access, successive interference cancellation, minimum mean square error, outage probability.

1- مقدّمة

في السنوات الأخيرة، بدأ البحث أكاديمياً وصناعياً في الجيل الخامس Fifth Generation (5G) لأنظمة الاتصالات الخلوية، حيث حدد الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunication Union (ITU) ثلاث سياريوهات استخدام تتضمن: الحزمة العريضة النقالة المعززة Enhanced Mobile BroadBand (eMBB)، اتصالات نموذج الآلة الكثيفة massive Machine Type Communications (mMTC) واتصالات عالية الوثوقية منخفضة التأخير Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC) [1]. تسعى أنظمة الاتصالات اللاسلكية في الجيل الخامس إلى مواجهة التحديات والتغلب على الصعوبات الناتجة عن الانتشار الواسع لتطبيقات هذه الأنظمة وخاصةً مع التطور السريع للإنترنت الخلوية وإنترنت الأشياء (Internet Of Things (IOT) والتي أدت إلى تزايد حركة مرور المعطيات بشكل كبير وتزايد أو ظهور متطلبات جديدة ضمن قيود حرجة تعجز التقنيات المستخدمة في الأجيال السابقة للأنظمة الخلوية عن تحقيقها، كالحاجة إلى رفع الفعالية الطيفية بمقدار يتراوح من 5 إلى 15 ضعف مقارنةً مع الجيل الرابع، وزيادة كثافة التوصيلات حتى $10^6/km^2$. كما تفرض بعض التطبيقات قيود صارمة على استهلاك الطاقة وزمن التأخير. [2]

تُعتبر تقنيات النفاذ المتعدد Multiple Access (MA) جزءاً أساسياً من أنظمة الاتصالات الخلوية في مختلف الأجيال؛ حيث تسمح هذه التقنيات لعدد من المستخدمين بتشارك الموارد الراديوية بشكل متعامد (Orthogonal Multiple access (OMA) أو غير متعامد (Non-Orthogonal Multiple access (NOMA) [3].

تم استخدام تقنيات OMA في الجيل الرابع وما قبل للأنظمة الخلوية بشكل فعال بما يتناسب مع المتطلبات الطارئة في كل مرحلة من خلال تقسيم الموارد الزمنية و/أو الترددية بشكل متعامد، ما يؤدي إلى اعتبار التداخل بين المستخدمين معدوم نظرياً. بينما يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA من التقنيات الواعدة لتحسين الفعالية الطيفية

واستهلاك الطاقة في الجيل الخامس وما بعده، وذلك من خلال السماح لعدة مستخدمين بالإرسال على المورد الزمني أو الترددي نفسه بطريقة غير متعامدة. تُصنف تقنيات NOMA إلى قسمين أساسيين: النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة Power domain NOMA، والنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الرمز [4] Code domain NOMA.

2- هدف البحث

تكمن أهمية البحث من اعتبار تقنيات النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA إحدى الحلول المطروحة لتلبية المتطلبات المتزايدة في تطبيقات الجيل الخامس 5G ضمن قيود التأخير والاستطاعة والتي لا تستطيع تقنيات النفاذ المتعدد المتعامد OMA مواكبتها. يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحسين استهلاك الطاقة في إرسال الوصلة الصاعدة المعتمد على النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA في مجال الاستطاعة وذلك من خلال التخصيص الأمثل لاستطاعات الإرسال ضمن قيود استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة للأجهزة ومتطلبات جودة الخدمة لكل مستخدم.

3- موارد وطرائق البحث

3-1 تخصيص الاستطاعة في الوصلة الصاعدة للنفاذ المتعدد غير المتعامد في

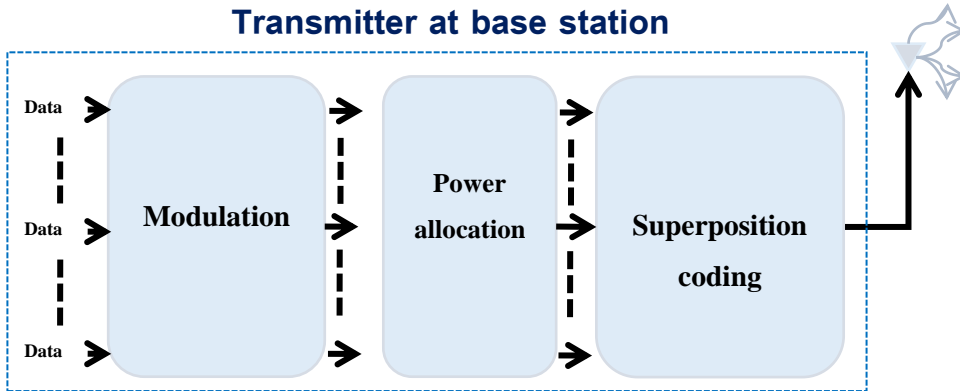
مجال الاستطاعة

النفاذ المتعدد غير المتعامد ضمن مجال الاستطاعة

تهدف تقنية النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA إلى تحقيق عدالة نقل معطيات أكبر منه في OMA وذلك من خلال تخصيص استطاعة أكبر للمستخدم الأقل ربح قناة. في نظام إرسال الوصلة الهابطة المبينة في الشكل (1) بعد تعديل معطيات المستخدمين، يتم تخصيص كل مستخدم بجزء من استطاعة الإرسال الكلية المتاحة في المحطة ويُخصص لكل مستخدم استطاعة أعلى من الاستطاعات المخصصة للمستخدمين الأكبر ربح قناة، حيث أن معلومات حالة القناة channel

(CSI) state information معلومة مسبقاً لدى المحطة القاعدية وحتى لدى المستخدم. تُجمع الإشارات الناتجة عن تخصيص الاستطاعة (الترميز التراكمي SC) ليتم إرسالها إلى جميع المستخدمين كإشارة واحدة على كامل الحزمة الترددية. يتألف مرسل النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة في الوصلة الهابطة عند المحطة القاعدية المبين في الشكل (1) من المراحل التالية:

- (1) مرحلة تعديل المعطيات الرقمية لجميع المستخدمين كالتعديل MPSK أو MQAM.
- (2) مرحلة تخصيص الاستطاعة لكل مستخدم اعتماداً على المعرفة المسبقة لمعلومات حالة القناة لجميع المستخدمين.
- (3) مرحلة الترميز التراكمي SC المتضمنة جمع الإشارات الناتجة من مرحلة تخصيص الاستطاعة.

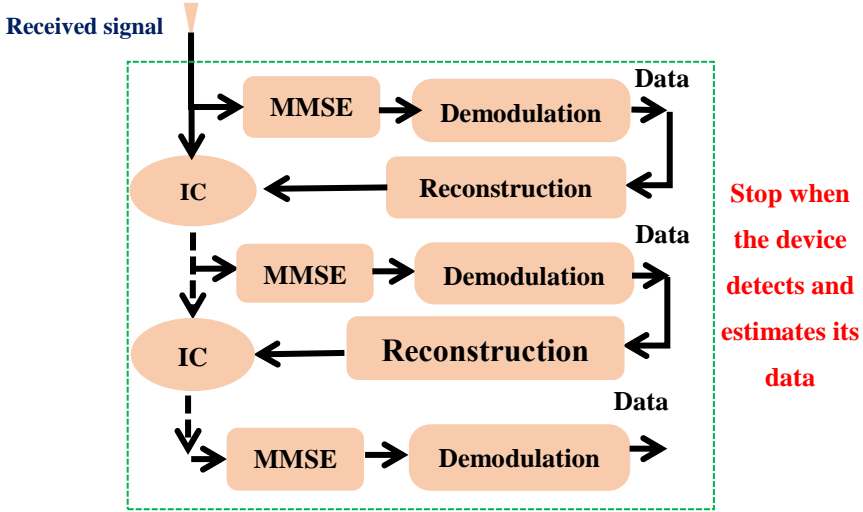


الشكل (1) مرسل النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة في الوصلة الهابطة.

يستقبل جهاز كل مستخدم الإشارة المرسلة من المحطة القاعدية بعد انتشارها عبر القناة الخاصة بهذا المستخدم، حيث يُستخدم مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC مع كاشف الخطأ الوسطي التربيعي الأدنى MMSE المبين في الشكل (2). يبدأ مستقبل كل مستخدم بكشف وتقدير معطيات المستخدمين الأقل ربح قناة (المخصصين باستطاعة إرسال أعلى من الاستطاعة المخصصة لهذا المستخدم) واحداً تلو الآخر وحذف التداخل

الناتج عن هذه الإشارات وصولاً إلى كشف إشارته وتقدير معطياته المرسله من المحطة،
وعندها يتوقف المستقبل في هذه النقطة.

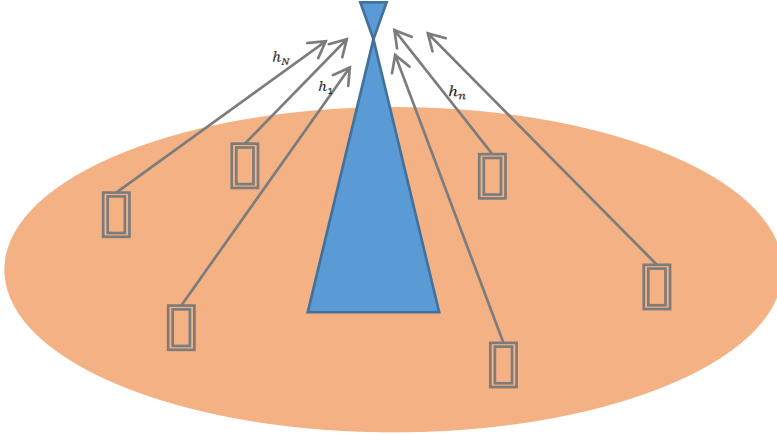
**SIC receiver based on
MMSE at each device**



الشكل (2) مستقبل النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة في الوصلة الهابطة.

2-3 نموذج النظام

لنفرض الشبكة الخلوية المبينة في الشكل (3) والمؤلفة محطة قاعدية واحدة BS في مركز دائرة يتوزع ضمنها N مستخدم بشكل منتظم، ويتشاركون الحزمة الترددية الكلية المخصصة للمحطة في إرسال الوصلة الصاعدة باستخدام النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA.



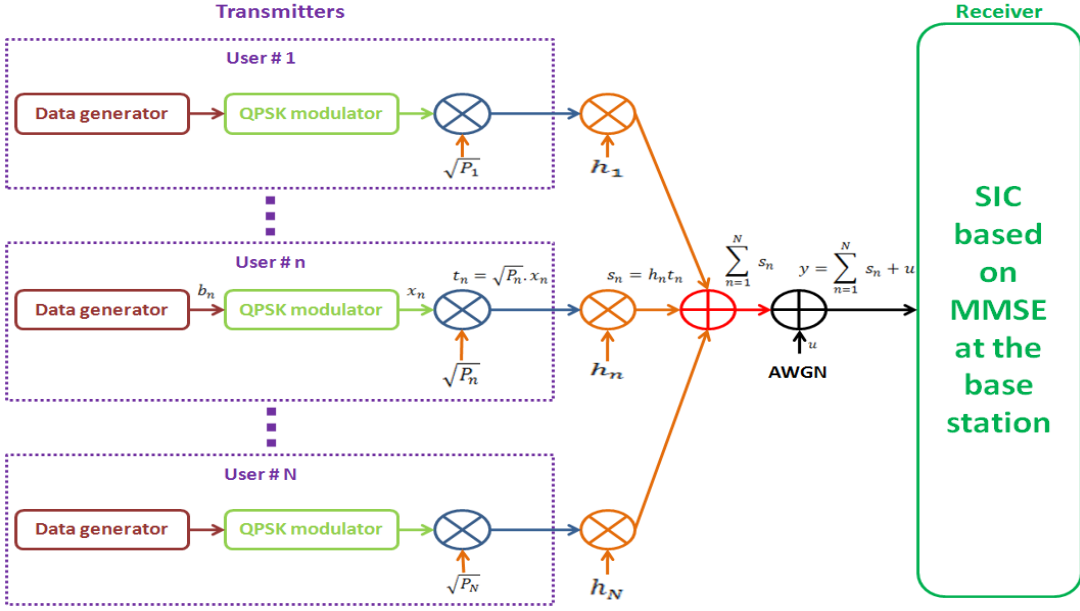
الشكل (3) نموذج الوصلة الصاعدة.

يمثل الشكل (4) نموذج نظام النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA للوصلة الصاعدة، حيث تُعدل المعطيات الثنائية في مرسل كل مستخدم باستخدام التعديل QPSK ويكون لكل رمز معدل استطاعة واحدة أي $E\{|x_n|^2\} = 1, \forall n = 1, 2, \dots, N$ حيث الرمز المعدل للمستخدم n و $E\{\cdot\}$ التوقع الرياضي. إن تطبيق PD NOMA يعني رفع استطاعة إشارة الرمز المعدل x_n من 1 إلى الاستطاعة المخصصة له P_n وذلك يتم من خلال جداء الرمز المعدل بهذه الاستطاعة. وبالتالي تُكتب الإشارة المرسله t_n من المستخدم n كما يلي: [12],[13]

$$t_n = \sqrt{P_n} \cdot x_n$$

(1)

حيث x_n الرمز المعدل و P_n الاستطاعة المخصصة للمستخدم n .



الشكل (4) نموذج نظام النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA للوصلة الصاعدة.

تتعرض الإشارات المرسلَة إلى المحطة القاعدية لخفوت عريض وخفوت مسطح ضيق النطاق يتم نمذجتهم بالمعاملات التالية:

$$h_n = (d_n)^{-\alpha} g_n$$

(2)

حيث: h_n معامل القناة بين المستخدم n والمحطة القاعدية، d_n المسافة بين المستخدم n والمحطة القاعدية، α أس فقد المسار path loss exponent، $(d_n)^{-\alpha}$ لنمذجة الخفوت عريض النطاق، و g_n لنمذجة الخفوت المسطح ضيق النطاق ويتبع توزيع رايلي. نفرض أن معاملات القناة مقدرة بشكل تام ومعروفة لدى المرسلات ومستقبل المحطة وذلك من خلال تبادل طليعة من الإشارات بين المحطة والمستخدمين، والتي يتم إرسالها في بداية كل فترة زمنية لتقدير القناة وتحقيق التزامن. كما نفرض أن المستخدمين مرتبين وفقاً لربح قنواتهم؛ بحيث يكون رقم المستخدم الأكبر ربح قناة هو 1 وهكذا أي:

$$|h_1|^2 \geq \dots \geq |h_n|^2 \geq \dots \geq |h_N|^2.$$

إن الإشارة الناتجة s_n من تطبيق خفوت قناة المستخدم n يمكن أن تُكتب كما يلي:

$$s_n = h_n t_n = \sqrt{P_n} h_n x_n \quad (3)$$

حيث t_n الإشارة المرسله من المستخدم n المبينة في العلاقة (1.1)، و h_n معامل قناة المستخدم n المبين في العلاقة (2). بالتالي تكون الإشارة المستقبلية y عند المحطة القاعدية كما يلي:

$$y = \sum_{n=1}^N \sqrt{P_n} h_n x_n + u = [h_1 \sqrt{P_1} \quad \dots \quad h_n \sqrt{P_n} \quad \dots \quad h_N \sqrt{P_N}] \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} + u \quad (4)$$

حيث N عدد المستخدمين، x_n الرمز المعدل المرسل من المستخدم n ، P_n الاستطاعة المخصصة للمستخدم n ، h_n معامل قناة المستخدم n المبين في العلاقة (2)، و u عينة ضجيج أبيض غاوسي جمعي AWGN بمتوسط صفري وتباين σ^2 .

3-3 تحليل نسبة الإشارة للتداخل والضجيج

يستخدم مستقبل المحطة القاعدية حذف التداخل المتتالي SIC المبين في الشكل (2) بدءاً من إشارة المستخدم الأول رقم 1 على اعتبار أن ربح قناته هو الأعلى وانتهاءً بالمستخدم N ، وتُكتب نسبة الإشارة للتداخل والضجيج $SINR_n$ للمستخدم n كما يلي: [15]

$$SINR_n = \frac{P_n |h_n|^2}{\sum_{i=1}^{n-1} \beta_i P_i |h_i|^2 + \sum_{i=n+1}^N P_j |h_j|^2 + \sigma^2} = \frac{P_n |h_n|^2}{I_p + I_r + \sigma^2} \quad (5)$$

حيث P_n استطاعة الإشارة المرسله للمستخدم n ، $|h_n|^2$ ربح قناة المستخدم n ، σ^2 استطاعة الضجيج، $|h_j|^2$ ربح قناة المستخدم j حيث $n < j \leq N$ (المستخدمين المتبقين والتي لم تكشف إشاراتهم بعد)، $|h_i|^2$ ربح قناة المستخدم i حيث $1 \leq i < n$ (المستخدمين المقدرة معطيائهم قبل المستخدم n)، $I_r = \sum_{i=n+1}^N P_j |h_j|^2$ التداخل

الناجم عن الإشارات التي لم تكشف بعد (التي تكون قناتها أضعف بحيث يكون نسبة الإشارة للتداخل والضجيج أقل من المستخدم n)، $I_p = \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i P_i |h_i|^2$ ، التداخل الناتج عن الإشارات التي تم كشفها مسبقاً (التي تكون قناتها أقوى بحيث يكون نسبة الإشارة للتداخل والضجيج أكبر من المستخدم n) حيث β_i معامل حذف التداخل SIC factor ويُعبر عن نسبة الإشارة المتبقية في كل مرحلة حذف تداخل حيث $0 \leq \beta_i \leq 1$ ، ويفرض أن هذه النسبة متساوية في كل مرحلة أي معامل حذف التداخل $I_p = \beta \sum_{i=1}^{n-1} P_i |h_i|^2$ ويكون $\beta_i = \beta, \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}$ ويكون معدوماً في حالة مستقبل حذف تداخل متتالي تام أي:

$$I_p = \begin{cases} 0, & \beta = 0 & \rightarrow \text{Perfect SIC} \\ \beta \sum_{i=1}^{n-1} P_i |h_i|^2, & 0 < \beta \leq 1 & \rightarrow \text{Imperfect SIC} \end{cases} \quad (6)$$

وفقاً للعلاقة (5) فإن نسبة الإشارة للتداخل والضجيج تعتمد على الاستطاعة المخصصة ومعامل القناة لكل مستخدم. وتؤثر هذه النسبة بأداء معدل النقل R_n لكل مستخدم وفقاً للعلاقة التالية: [20]

$$R_n = \log_2(1 + SINR_n) \quad (7)$$

حيث R_n مقدرة بالوحدة (bps/Hz)، و $SINR_n$ نسبة الإشارة للتداخل والضجيج للمستخدم n المبينة في العلاقة (5).

3-4 احتمال الانقطاع

يحدث الانقطاع للمستخدم n في نظام الوصلة الصاعدة للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة مع مستقبل حذف تداخل متتالي [11]، عندما لا يتحقق معدل النقل المطلوب R_{min} لكل المستخدمين i حيث $1 \leq i \leq n$ ، أي يحدث الانقطاع للمستخدم n عندما يكون $R_i < R_{min}$. ويُعطى outage probability احتمال الانقطاع OP_n لمستخدم n كما يلي:

$$OP_n = \sum_{i=1}^n Pr(R_i < R_{min}), \forall n$$

$$\in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (8)$$

حيث R_{min} معدل النقل المطلوب لكل مستخدم، و R_i معدل النقل الممكن تحقيقه في النظام للمستخدم i والمبين في العلاقة (7). يُكافئ احتمال الانقطاع المبين في العلاقة (1.8) العلاقة التالية:

$$OP_n = \sum_{i=1}^n Pr(SINR_i$$

$$< SINR_{min}) \quad (9)$$

حيث $SINR_i$ نسبة الإشارة للتداخل والضجيج للمستخدم i والمبين في العلاقة (5)، و $SINR_{min}$ عتبة محددة لنسبة الإشارة للتداخل والضجيج حيث $SINR_{min} = 2^{R_{min}} - 1$ معدل النقل المطلوب لكل مستخدم.

3-5 خوارزميات تخصيص الاستطاعة في PD NOMA

تسعى الخوارزميات الثلاث إلى إيجاد الاستطاعات المناسبة لكل منها وبما أن ربح قناة كل مستخدم واستطاعة الضجيج عند المحطة معلومة لدى المحطة والمستخدمين، فإنه يمكن اعتبار نسبة الإشارة للتداخل والضجيج المبينة في العلاقة (5) كتابع لقيم الاستطاعات المخصصة P والتي يتم حسابها بهذه الخوارزميات، وبالتالي اعتبار معدلات النقل المبينة في العلاقة (7) كتابع لقيم الاستطاعات المخصصة P كما يلي:

$$R_n(P)$$

$$= \log_2(1$$

$$+ SINR_n(P))$$

$$(7)$$

حيث $P = [P_1, \dots, P_n, \dots, P_N]^T$ و P_n استطاعة إرسال المستخدم n .

3-5-1 الخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة

يتم في الخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة حساب قيم استطاعات الإرسال

$$P^{(1)} = [P_1^{(1)}, \dots, P_n^{(1)}, \dots, P_N^{(1)}]^T$$

اللازمة ليتحقق ما يلي:

$$R_n(\mathbf{P}^{(1)}) = \log_2(1 + SINR_n(\mathbf{P}^{(1)})) = R_{min}, \quad \forall n$$

$$\in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (10)$$

$$\stackrel{(1.10)}{\implies} \mathbf{A} \mathbf{P}^{(1)}$$

$$= \mathbf{v}, \quad (11)$$

حيث \mathbf{A} مصفوفة بالأبعاد $(N \times N)$ ، $\mathbf{P}^{(1)}$ بأبعاد $(N \times 1)$ يمثل قيم الاستطاعات

اللازمة لتحقيق معدل نقل المعطيات المطلوب، و \mathbf{v} بأبعاد $(N \times 1)$ حيث

$$\mathbf{v} = \sigma^2 [1, \dots, 1, \dots, 1]^T \text{ و } \sigma^2 \text{ استطاعة الضجيج. من العلاقة (11) يمكن}$$

إيجاد قيم الاستطاعة اللازمة لتحقيق معدل النقل المطلوب كما يلي:

$$\stackrel{(1.11)}{\implies} \mathbf{A}^H \mathbf{A} \mathbf{P}^{(1)} = \mathbf{A}^H \mathbf{v} \implies (\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{A} \mathbf{P}^{(1)} = (\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{v}$$

$$\implies \mathbf{P}^{(1)}$$

$$= (\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^H \mathbf{v}, \quad (12)$$

حيث \mathbf{A}^H منقول مرافق المصفوفة \mathbf{A} و $(\mathbf{A}^H \mathbf{A})^{-1}$ مقلوب المصفوفة $(\mathbf{A}^H \mathbf{A})$.

بما أن قيم استطاعات الإرسال المحسوبة في العلاقة (12) تحقق العلاقة (10) أي

$R_n = R_{min}$ من أجل مستخدم $n \in \{1, 2, \dots, N\}$ ، فإن أي معدل نقل معطيات

لأي مستخدم أقل من المعدل المطلوب وبالتالي احتمال الانقطاع معدوم أي:

$$Pr(R_n < R_{min}) = 0, \quad \forall n \in \{1, 2, \dots, N\} \implies OP_n$$

$$= \sum_{i=1}^n Pr(R_i < R_{min}) = 0, \quad (13)$$

يبين الشكل (5) المخطط التدفقي للخوارزمية الأولى لتخصيص استطاعات الإرسال التي

يتحقق عندها معدل النقل المطلوب لكل مستخدم، حيث معاملات الدخل المطلوبة: N

عدد المستخدمين، σ^2 استطاعة الضجيج، β معامل حذف التداخل SIC factor،

R_{min} معدل النقل المطلوب، $\mathbf{h} = [h_1, \dots, h_n, \dots, h_N]^T$ معاملات القنوات. أما

الخرج فهو قيم الاستطاعة اللازمة للحصول على معدل النقل المطلوب باستخدام العلاقة

$$.(1.12)$$

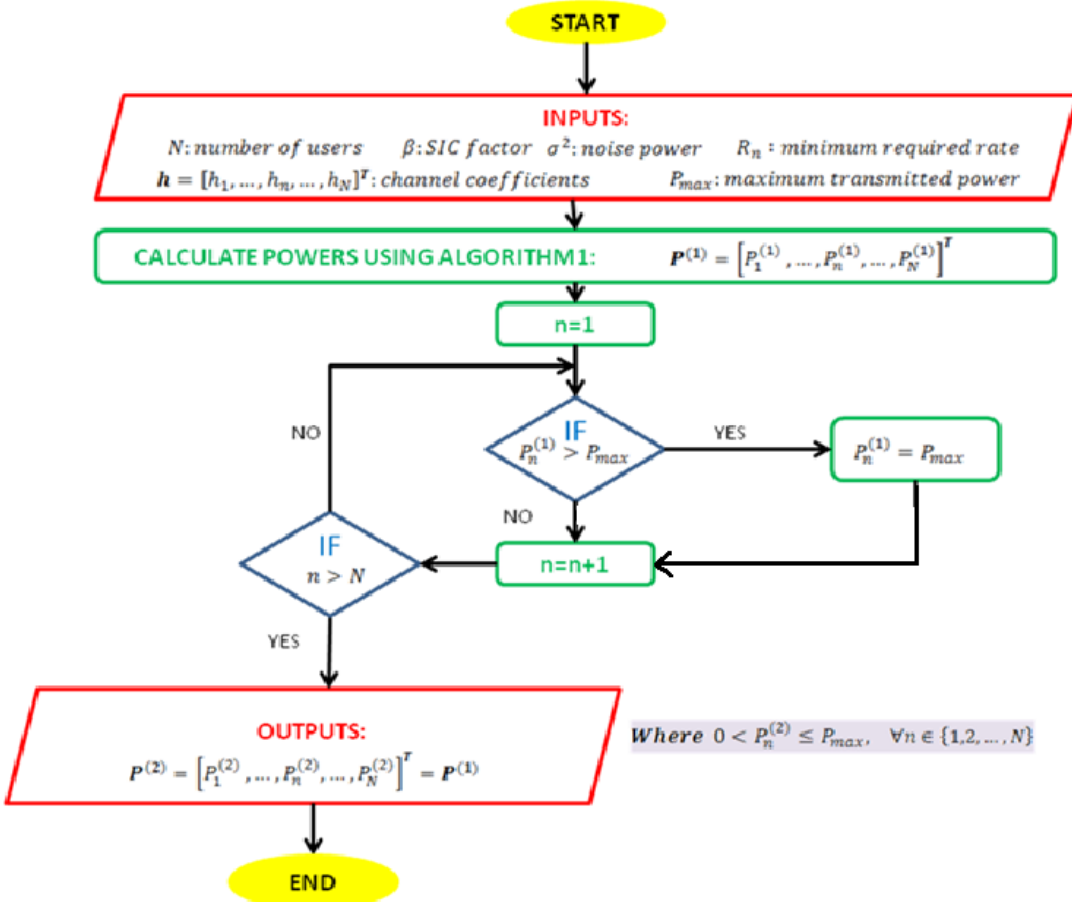
حيث $P_n^{(1)}$ استطاعة الإرسال للمستخدم n المحسوبة في الخوارزمية الأولى و P_{max} الاستطاعة الأعظمية المتاحة في أجهزة الإرسال والتي نفرضها متساوية لجميع الأجهزة. انطلاقاً من سبق يتم بناء الخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة المبينة في الشكل (6)، لحساب قيم استطاعات الإرسال $P^{(2)} = [P_1^{(2)}, \dots, P_n^{(2)}, \dots, P_N^{(2)}]^T$ التي تحقق ما يلي:

$$P_n^{(2)} \leq P_{max}, \quad \forall n \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (15)$$

تعتمد الخوارزمية الثانية على الاستطاعات المحسوبة في الخوارزمية الأولى وتتطلب دخلاً إضافياً هو الاستطاعة الأعظمية المتاحة في أجهزة الإرسال P_{max} ، حيث تقوم الخوارزمية الأولى بحساب الاستطاعات $P^{(1)} = [P_1^{(1)}, \dots, P_n^{(1)}, \dots, P_N^{(1)}]^T$ ومن ثم يتم تحديد كل استطاعة $P_n^{(1)}$ بالاستطاعة الأعظمية P_{max} في حال تجاوزتها، أي:

$$P_n^{(2)} = \begin{cases} P_{max} & \text{if } P_n^{(1)} > P_{max}, \forall n \\ P_n^{(1)} & \text{if } P_n^{(1)} \leq P_{max} \end{cases} \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (16)$$

من العلاقة (16) نجد أن خرج الخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة لا يتجاوز الاستطاعة الأعظمية المتاحة في الأجهزة ولا يكون معدوم ($0 < P_n^{(2)} \leq P_{max}, \forall n \in \{1, 2, \dots, N\}$).



الشكل (6) المخطط التدفقي للخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة.

يمكن تلخيص خطوات الخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة كما يلي:

(1) حساب الاستطاعات $P^{(1)}$ باستخدام الخوارزمية الأولى من العلاقة (12).

(2) حساب الاستطاعات $P^{(2)}$ باستخدام العلاقة (16)

أما احتمال الانقطاع لأي مستخدم فيمكن أن يكون غير معدوم وذلك لأنه من المحتمل أن يكون معدل نقل معطيات لأي مستخدم أقل من المعدل المطلوب وبالتالي احتمال انقطاع غير معدوم.

3-5-3 الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة

رأينا أن احتمال الانقطاع يمكن أن يكون غير معدوم في الخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة من أجل قيود لاستطاعة الإرسال في الأجهزة، وهذا يعني أنه في بعض فترات الإرسال الزمنية سترسل بعض الأجهزة إشارات بحيث لا يتحقق معدل النقل المطلوب ويجب إعادة الإرسال في فترات لاحقة وبالتالي استهلاك استطاعة أكبر. لذلك تم بناء الخوارزمية الثالثة التكرارية لتخصيص الاستطاعة المبينة في الشكل (7) والمكونة من الخطوات التالية:

- **معاملات الدخول:** N عدد المستخدمين، σ^2 استطاعة الضجيج، β معامل حذف التداخل SIC factor، R_{min} معدل النقل المطلوب، $\mathbf{h} = [h_1, \dots, h_n, \dots, h_N]^T$ معاملات القنوات، P_{max} الاستطاعة الأعظمية المتاحة في أجهزة الإرسال.

(1) تعريف القيم البدائية للمعاملات التالية:

- $M = N$ عدد المستخدمين المتبقين في كل تكرار.
 - $\mathbf{h}_0 = \mathbf{h}$ معاملات قنوات المستخدمين المتبقين في كل تكرار.
 - $ind_{nz} = [1, 2, \dots, N]^T$ أرقام المستخدمين المتبقين في كل تكرار.
- (2) حساب قيم الاستطاعة البدائية $\mathbf{P}^{(1)} = [P_1^{(1)}, \dots, P_n^{(1)}, \dots, P_M^{(1)}]^T$

باستخدام الخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة المبينة في الشكل (5).

- (3) إيجاد أعلى استطاعة من $\mathbf{P}^{(1)}$ المحسوبة في الخطوة الثانية ورقم المستخدم المقابل لها بالترتيب كما يلي:

$$P_{max}^{(1)} = \max \mathbf{P}^{(1)} \quad \text{و} \quad ind_{max}^{(1)} = \text{index of } (P_{max}^{(1)})$$

- (4) مقارنة الاستطاعة $P_{max}^{(1)}$ المحسوبة في الخطوة الثالثة مع الاستطاعة الأعظمية المتاحة في أجهزة الإرسال P_{max} :

- الحالة الأولى: عندما يكون $(P_{max}^{(1)} > P_{max})$ يتم اختيار قيمة معدومة لاستطاعة المستخدم رقم $ind_{max}^{(1)}$ المحسوب في الخطوة الثانية (يعني أن هذا المستخدم لا يرسل أي إشارة) ويتم حذف رقم المستخدم من ind_{nz}

وإنقاص عدد المستخدمين بمقدار واحد أي :

$$P_{max}^{(1)} = \max P^{(1)} = \begin{cases} 0 & \text{if } P_{max}^{(1)} > P_{max} \\ P_{max}^{(1)} & \text{if } P_{max}^{(1)} \leq P_{max} \end{cases}$$

$$ind_{nz} = ind_{nz} \setminus \{ind_{max}^{(1)}\}$$

$$h_0 = h_0 \setminus h_0(ind_{max}^{(1)})$$

نقصد بالإشارة (\) فرق ل طرح المقدار الثاني من المقدار الاصيلي

$$M = M - 1$$

بعد ذلك يتم التحقق من وجود مستخدمين باقين فإذا $M = 0$ هذا يعني أن أي جهاز لن يحقق معدل النقل المطلوب حتى لو أرسل إشارته منفرداً بالاستطاعة الأعظمية، وفي هذه الحالة لا يرسل أي جهاز أي إشارة أي يتم الخروج من الخوارزمية وتكون قيم الاستطاعات لكل المستخدمين معدومة أي خرج الخوارزمية الثالثة في هذه الحالة هو $P^{(3)} = [0, \dots, 0, \dots, 0]^T$. أما في حالة وجود مستخدمين باقين $M \geq 1$ فيتم العودة إلى الخطوة الثانية وإعادة تنفيذ تسلسل الخطوات على باقي المستخدمين أي إعادة تطبيق الخوارزمية بعدد مستخدمين جديد أقل من السابق بواحد.

- الحالة الثانية: عندما يكون $(P_{max}^{(1)} \leq P_{max})$ فإنه يتم الخروج من الخوارزمية ويكون خرج الخوارزمية الثالثة كما يلي:

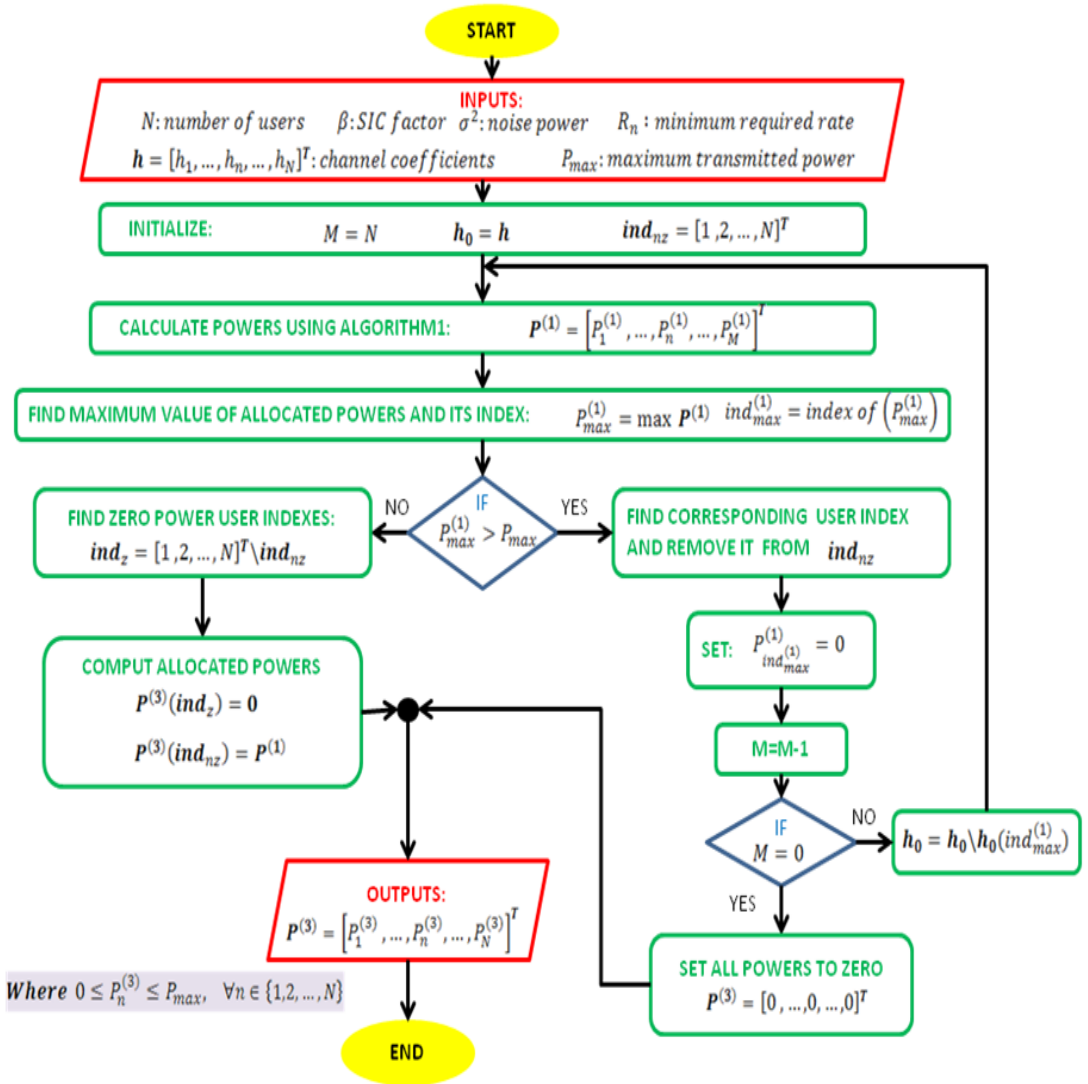
$$P^{(3)}(n) = \begin{cases} 0, & n \in ind_z \\ P_n^{(1)}, & n \in ind_{nz} \end{cases}, \quad \forall n \in \{1, 2, \dots, N\}$$

$$P^{(3)}(ind_z) = 0, \quad P^{(3)}(ind_{nz}) = P^{(1)}$$

حيث $ind_z = \{1, 2, \dots, N\} \setminus ind_{nz}$ أرقام المستخدمين الذين يتطلبون استطاعة إرسال أكبر من الاستطاعة الأعظمية المتاحة لتحقيق معدل النقل المطلوب.

الخرج: $P^{(3)} = [P_1^{(3)}, \dots, P_n^{(3)}, \dots, P_N^{(3)}]^T$ قيم استطاعات الإشارات

المرسلة خلال الفترة الزمنية المطبقة عليها الخوارزمية حيث $0 \leq P_n^{(3)} \leq P_{max}$.



الشكل (7) المخطط التدفقي للخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة.

بما أن قيم الاستطاعات الناتجة من تطبيق الخوارزمية الثالثة يمكن أن تكون معدومة فإن احتمال الانقطاع لأي مستخدم يمكن أن يكون غير معدوم وذلك لأن الاستطاعة الصفرية تؤدي معدل نقل معطيات معدوم وبالتالي احتمال انقطاع غير معدوم.

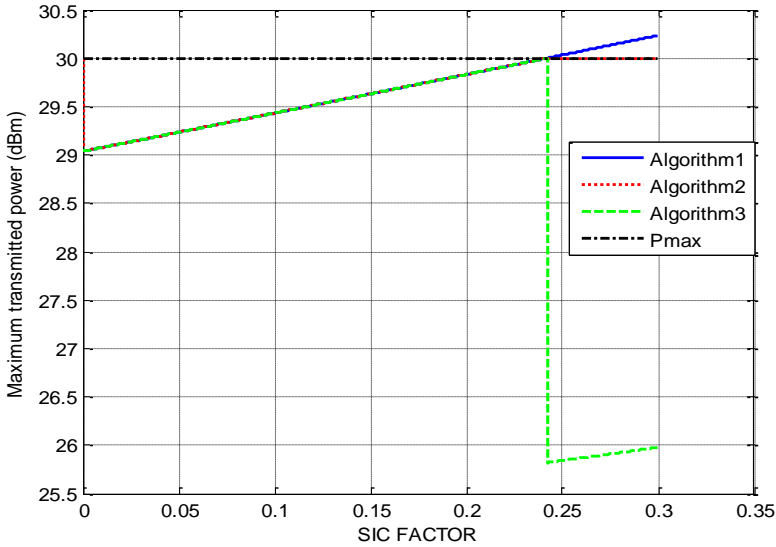
4- المحاكاة ومناقشة النتائج

يُستخدم برنامج ماتلاب MATLAB مع المعاملات المبينة في الجدول (1) لتقييم أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA مع مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC التام وغير التام واستخدام خوارزميات تخصيص الاستطاعة؛ حيث يتم مناقشة النتائج والمقارنة بين أداء المستقبلين من حيث استطاعات الإرسال المستهلكة واحتمال الانقطاع.

الجدول 1 معاملات المحاكاة في MATLAB

| القيم | المعامل |
|-----------------------------|--|
| 5 | عدد المستخدمين: N |
| [20,25,30,35]dBm | الاستطاعة الأعظمية للإرسال: P_{max} |
| [0.1, ..., 0.6]bps/Hz | معدل النقل المطلوب R_{min} |
| -114dBm | استطاعة الضجيج σ^2 |
| [0, ..., 0.3] | معامل حذف التداخل β |
| $\alpha = 2$ | أس فقد المسار |
| [1000,2000,3000,4000,5000]m | البعد بين المستخدمين والمحطة d_n |
| Rayleigh | الخفوت الضيق مسطح g_n متساوي لجميع المستخدمين |
| AWGN | الضجيج |
| QPSK | التعديل |

4-1 أثر معامل حذف التداخل للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة
 تتزايد استطاعة الإرسال الأعظمية اللازمة في خوارزميات تخصيص الاستطاعة الثلاث
 في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA مع تزايد معامل
 حذف التداخل بالمجال $0 \leq \beta \leq 0.24$ كما هو مبين في الشكل (8)؛ حيث يُستخدم
 مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC لفصل إشارات 5 مستخدمين والاستطاعة الأعظمية
 للإرسال في كل جهاز $P_{max} = 30dBm$ ومعدل النقل المطلوب
 $R_{min} = 0.209bps/Hz$. تتزايد هذه الاستطاعة في الخوارزمية الأولى لتخصيص
 الاستطاعة بينما تثبت في الخوارزمية الثانية على الاستطاعة الأعظمية المتاحة P_{max} ،
 أما في الخوارزمية الثالثة فإن الاستطاعة الأعظمية اللازمة في النظام تصبح أقل من
 باقي الخوارزميات وحتى أقل من أجل قيم الاستطاعة الأعظمية الموافقة لمعامل حذف
 تداخل $0 \leq \beta \leq 0.24$ ؛ حيث لا تتجاوز $26dBm$.

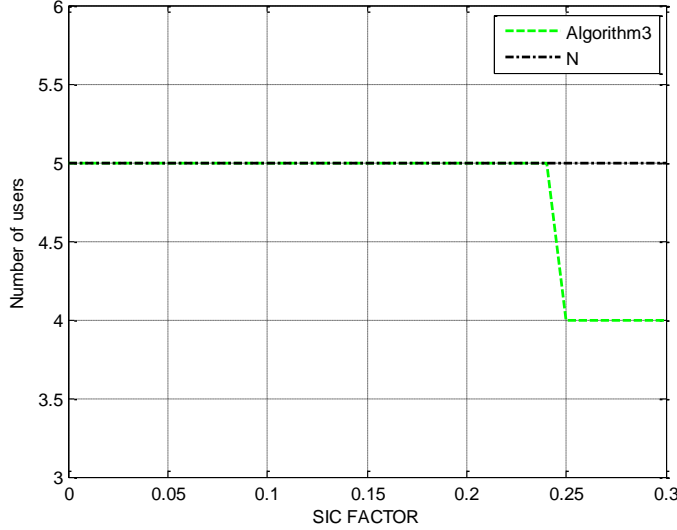


الشكل (8) استطاعة الإرسال الأعظمية اللازمة تبعاً لمعامل حذف التداخل حيث

$$P_{max} = 30dBm \text{ و } N = 5 \text{ و } R_{min} = 0.209bps/Hz$$

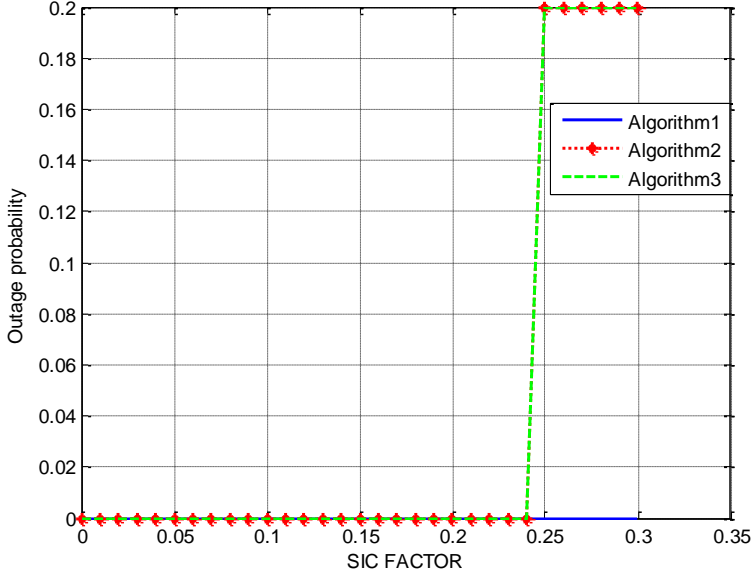
من أجل قيم $0.25 \leq \beta \leq 0.3$ تفسر النتائج المبينة في الشكل (9) عدد المستخدمين
 في الخوارزمية الثالثة يصبح 4 عند هذه القيم لمعامل حذف التداخل، بينما يبقى عدد

المستخدمين 5 في باقي الخوارزميات وبالتالي يوجد مستخدم لا يرسل في هذه الفترة الزمنية ما يؤدي إلى تداخل بين المستخدمين أقل واستطاعة أقل.



الشكل (9) عدد المستخدمين المتبقين في الخوارزمية الثالثة لتخصيص استطاعة تبعاً لمعامل حذف التداخل

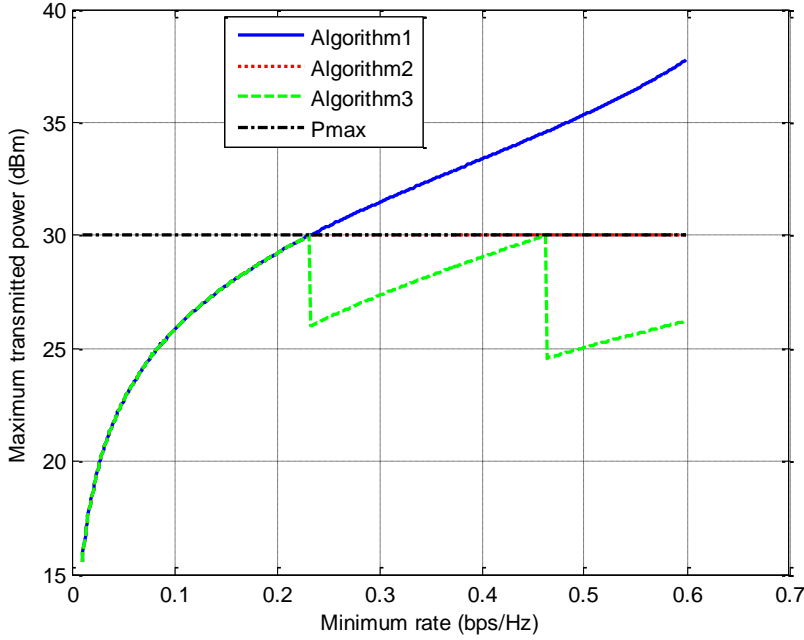
يبقى احتمال الانقطاع معدوماً من أجل قيم $0 \leq \beta \leq 0.24$ للخوارزميات الثلاث كما هو مبين في الشكل (10)، أداء احتمال الانقطاع في الخوارزمية الأولى فهو ثابت ومعدوم لا يتغير مهما كانت قيمة معامل حذف التداخل؛ وذلك لأنه يتم حساب استطاعات الإرسال في الخوارزمية الأولى بحيث يتحقق معدل النقل المطلوب، بينما يأخذ القيمة 0.2 عند قيم $0.25 \leq \beta \leq 0.3$ لكلا الخوارزميتين الثانية والثالثة.



الشكل (10) احتمال الانقطاع تبعاً لمعامل حذف التداخل

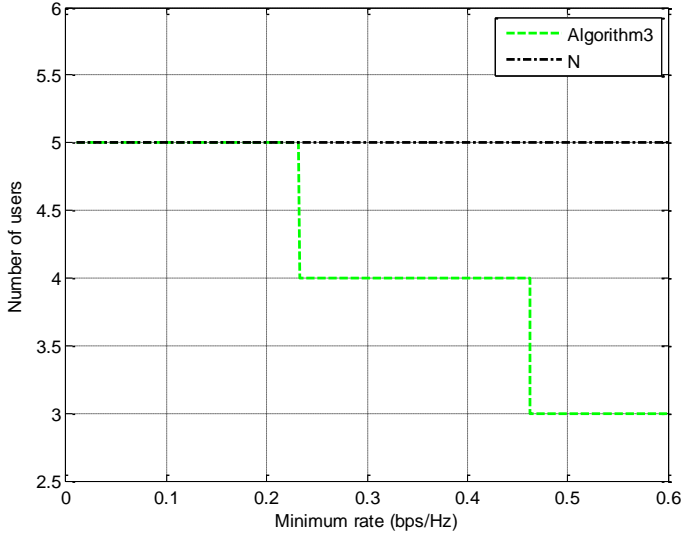
4-2 أثر معدل نقل المعطيات المطلوب للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة

يمثل الشكل (11) استطاعة الإرسال الأعظمية اللازمة في خوارزميات تخصيص الاستطاعة الثلاث في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA مع مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام لفصل إشارات 5 مستخدمين والاستطاعة الأعظمية للإرسال في كل جهاز $P_{max} = 30dBm$ ومعامل حذف التداخل $\beta = 0.1$ ، حيث تبين النتائج أن استخدام الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة يوفر استهلاك الاستطاعة الأعظمية اللازمة للإرسال في الأجهزة من أجل قيم معدل النقل العالية $R_{min} \geq 0.232bps/Hz$ وذلك مقارنةً مع الخوارزمية الثانية والتي بدورها توفر استهلاك الاستطاعة مقارنةً مع الخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة.



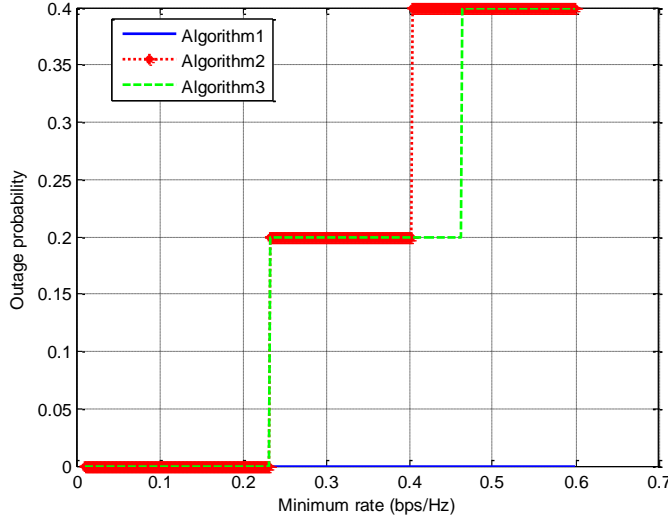
الشكل (11) استطاعة الإرسال الأعظمية اللازمة تبعاً لمعدل نقل المعطيات المطلوب
حيث $P_{max} = 30dBm$ و $N = 5$ و $\beta = 0.1$.

تتخفض الاستطاعة عند قيمة المعدل $0.233bps/Hz$ (بداية المجال الثاني) مقارنةً مع الاستطاعة عند قيمة المعدل $0.232bps/Hz$ (نهاية المجال الأول) $(R_{min} \leq 0.232bps/Hz)$ ، وكذلك تتخفض الاستطاعة عند قيمة المعدل $0.463bps/Hz$ (بداية المجال الثالث) مقارنةً مع الاستطاعة عند قيمة المعدل $0.462bps/Hz$ (نهاية المجال الثاني). يرجع السبب في هذا السلوك إلى اختلاف عدد المستخدمين في كل مجال كما هو مبين في الشكل (12)؛ حيث عدد المستخدمين 5، 4، 3 في المجال الأول، الثاني، الثالث بالترتيب.



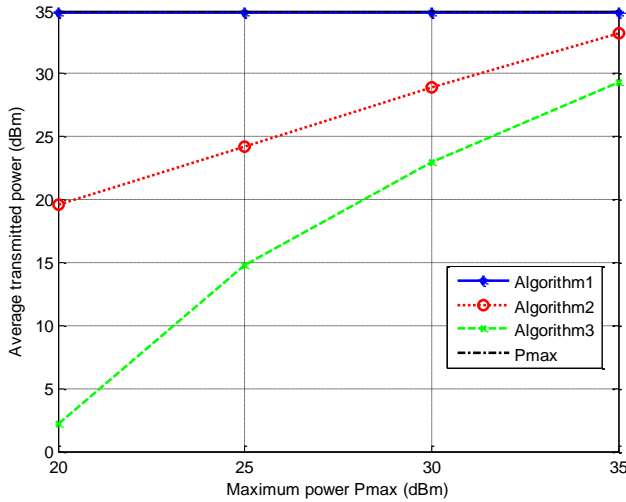
الشكل (12) عدد المستخدمين المتبقين في الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة تبعاً لمعدل نقل المعطيات

يبين الشكل (13) احتمال الانقطاع بدلالة معدل النقل المطلوب حيث يكون احتمال الانقطاع للخوارزمية الثانية (0.4) ضعفي الاحتمال للخوارزمية الثالثة (0.2)، لأن الاستطاعة الأعظمية اللازمة للإرسال لا تصل إلى القيمة العظمى المتاحة في الأجهزة $P_{max} = 30dBm$ في الخوارزمية الثالثة كما هو مبين في الشكل (11). وعدد المستخدمين 4 عند هذه القيم كما هو مبين في الشكل (13).



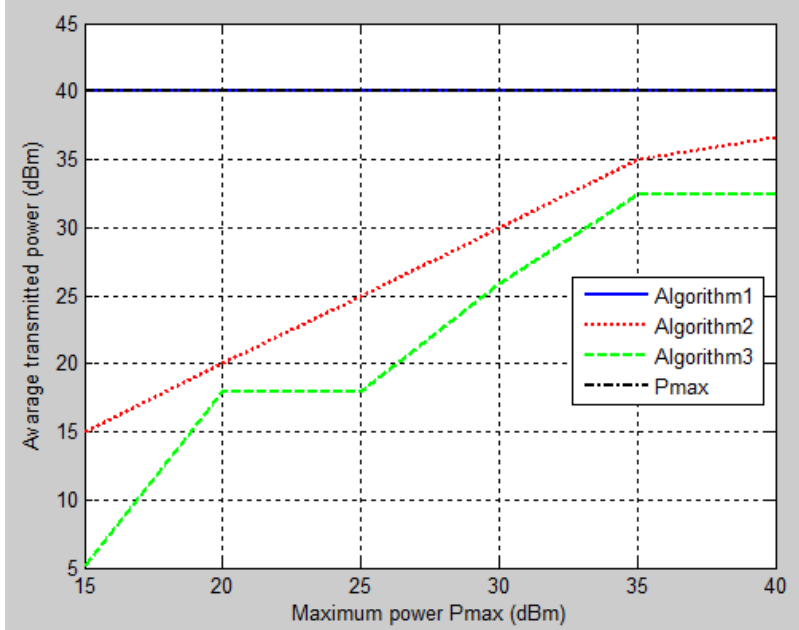
الشكل (13) احتمال الانقطاع تبعاً لمعدل نقل المعطيات المطلوب

3-4 أثر الاستطاعة الأعظمية للنفاز المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة
 يمكن للخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة توفير استطاعة أكثر من 58% من
 المتوسط وفقاً للنتائج المبينة في الشكل (14).



الشكل (14) متوسط استطاعات الإرسال اللازمة تبعاً للاستطاعة الأعظمية

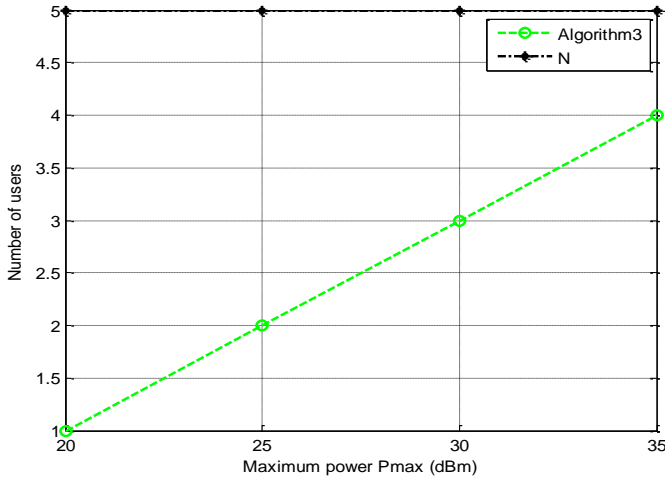
حيث P_{max} $R_{min} = 0.209bps/Hz$ و $N = 5$ و $\beta = 0.1$ ومن أجل قيم أخرى لـ P_{max} ضمن المجال $[15,20,25,30,35,40]dBm$ نجد الشكل (15)



الشكل (15) متوسط استطاعات الإرسال اللازمة تبعاً للاستطاعة الأعظمية

حيث P_{max} $R_{min} = 0.209bps/Hz$ و $N = 5$ و $\beta = 0.1$

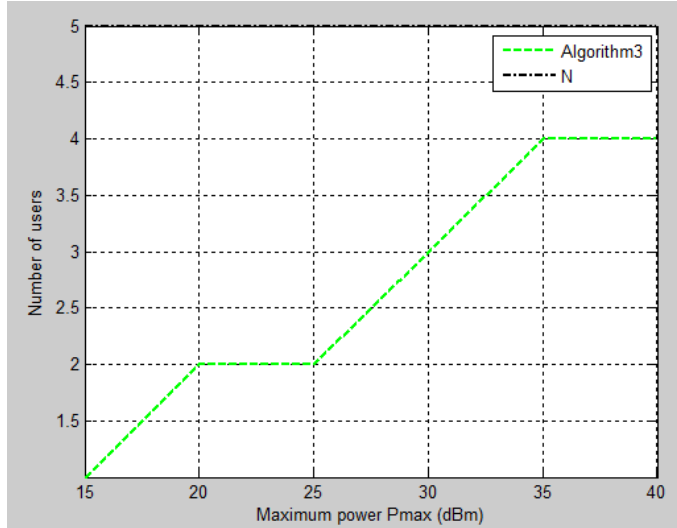
يبين الشكل (16) عدد المستخدمين المتبقين في الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة تبعاً للاستطاعة الأعظمية حيث يلاحظ عند قيمة الاستطاعة $P_{max} = 20dBm$ فإن عدد المستخدمين المتبقين يكون 1 كون باقي المستخدمين لا يستطيعون تحقيق معدل النقل المطلوب تبعاً لاستطاعة الإرسال العظمى المتاحة وبالتالي فإن هؤلاء المستخدمين لا يرسلون خلال هذا الفاصل الزمني ويعانون من انقطاع وعند زيادة الاستطاعة الأعظمية المتاحة لقيمة $P_{max} = 25dBm$ فإن عدد المستخدمين المتبقين يكون 2 وهكذا يزداد عدد المستخدمين المتبقين والقادرين على الإرسال بزيادة الاستطاعة الاعظمية المتاحة لهم.



الشكل (16) عدد المستخدمين المتبقين في الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة تبعاً للاستطاعة الأعظمية

حيث $P_{max} = 0.209 \text{ bps/Hz}$ و $N = 5$ و $\beta = 0.1$.

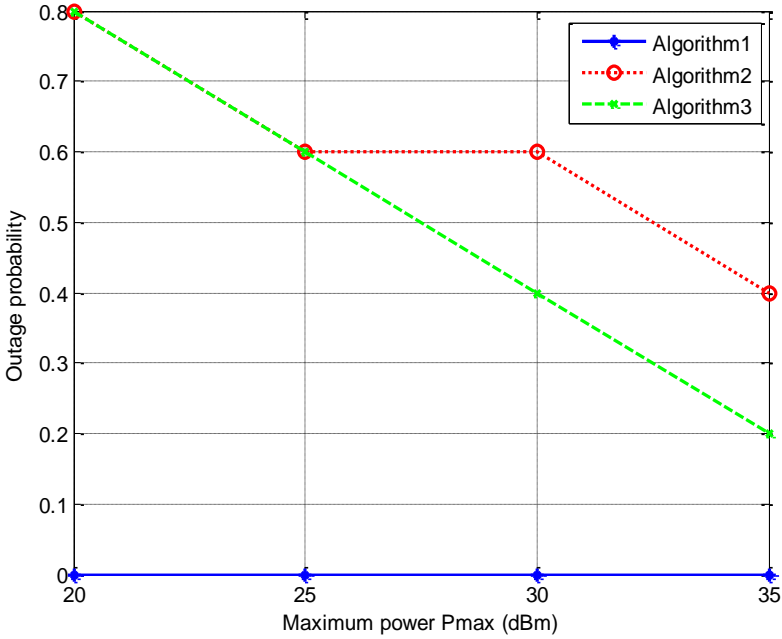
ومن أجل قيم أخرى لـ P_{max} ضمن المجال $[15, 20, 25, 30, 35, 40] \text{ dBm}$ نجد الشكل (17)



الشكل (17) عدد المستخدمين المتبقين في الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة تبعاً للاستطاعة الأعظمية

حيث P_{max} $\beta = 0.1$ و $N = 5$ و $R_{min} = 0.209 \text{bps/Hz}$

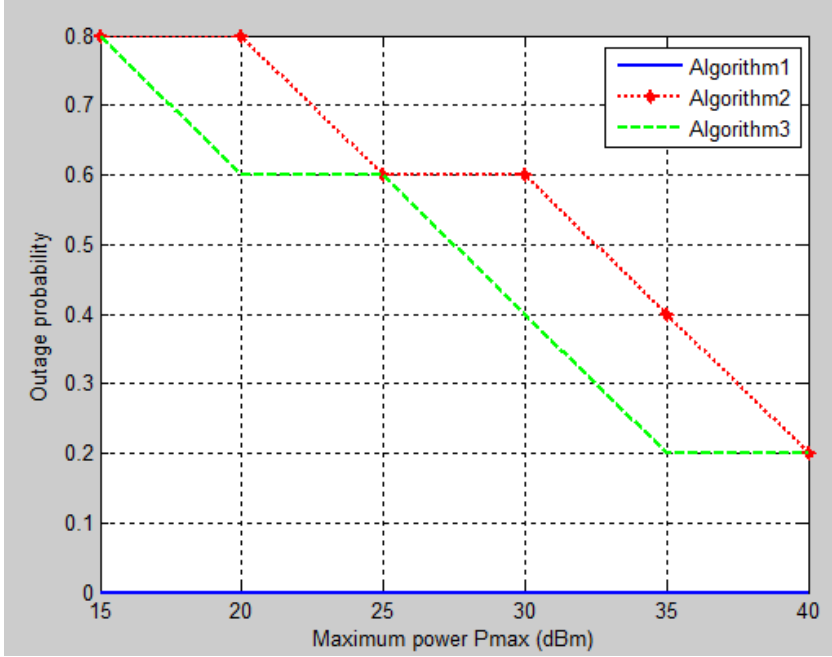
يتناقص احتمال الانقطاع بزيادة الاستطاعة الأعظمية المتاحة في الأجهزة P_{max} كما هو مبين في الشكل (18) وذلك من أجل الخوارزميتين الثانية والثالثة مع احتمال انقطاع معدوم للأولى. يتطابق احتمال الانقطاع للخوارزميتين الثانية والثالثة عند $P_{max} = 25 \text{dBm}$ ، بينما يكون 0.6 و 0.4 في الخوارزميتين الثانية والثالثة بالترتيب عند $P_{max} = 30 \text{dBm}$.



الشكل (18) احتمال الانقطاع تبعاً للاستطاعة الأعظمية

عند P_{max} $\beta = 0.1$ و $N = 5$ و $R_{min} = 0.209 \text{bps/Hz}$

ومن أجل قيم أخرى لـ P_{max} ضمن المجال $[15,20,25,30,35,40] \text{dBm}$ نجد
الشكل (19)



الشكل (19) احتمال الانقطاع تبعاً للاستطاعة الأعظمية

عند P_{max} و $R_{min} = 0.209 \text{ bps/Hz}$ و $N = 5$ و $\beta = 0.1$

من خلال تطبيق الخوارزمية الثالثة في نظام NOMA للوصلة الصاعدة اعتماداً على مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC مع الأخذ بعين الاعتبار نسبة الإشارة المتبقية في كل مرحلة حذف تداخل والتي تم التعبير عنها بالمعامل β_i وهو معامل حذف التداخل SIC factor والذي يُعبر عن نسبة الإشارة المتبقية في كل مرحلة حذف تداخل حيث $0 \leq \beta_i \leq 1$ ، نجد أن هذه الخوارزمية تساهم في توفير الطاقة للمرسلين والنظام بشكل متكامل من خلال الحد من عمليات الإرسال الغير محققة لمتطلبات الخدمة لبعض المستخدمين بدلاً من استهلاك هذه الاستطاعة دون تحقيق المتطلبات مما يؤدي لزيادة نسبة التداخل وبالتالي استهلاك طاقة أكثر لباقي المستخدمين لتوفير الاتصال المطلوب، ومنه نلاحظ أن بمقدور هذه الخوارزمية تحقيق أقل نسبة احتمال انقطاع ممكنة تبعاً لظروف المستخدمين سواء من جانب الاستطاعة الأعظمية المتوفرة أو من جانب كفاءة قناة الاتصال.

5- الخاتمة والأعمال المستقبلية

يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA من التقانات الواعدة لتحسين الفعالية الطيفية وتوفير استهلاك الاستطاعة في الأنظمة الخلوية، لكن يواجه مشكلة أثر انتشار الخطأ الناتج عن استخدام مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام الحالة العملية والأكثر واقعية في التطبيقات الحقيقية، حيث بينت نتائج المقارنة المقدمة في هذا البحث أثر مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام في تخفيض أداء معدل نقل المعطيات في الوصلة الصاعدة مقارنةً مع استخدام مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC التام.

بهدف توفير استهلاك الاستطاعة في إرسال الوصلة الصاعدة بالنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة تم استخدام ثلاث خوارزميات لتخصيص الاستطاعة، فيتم تخصيص الاستطاعات في الخوارزمية الأولى بما يحقق معدل نقل المعطيات المطلوب لكل مستخدم دون وجود قيد على استطاعة الإرسال، بينما تُخصص الاستطاعات في الخوارزمية الثانية بحيث يرسل المستخدم إشارته باستطاعة غير معدومة لا تتجاوز قيمة الاستطاعة الأعظمية المتاحة في الأجهزة. أما في الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة التي تستخدم الخوارزمية الأولى لحساب استطاعة الإرسال اللازمة لكل مستخدم، فعندما تتجاوز الاستطاعة المخصصة لمستخدم واحد استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة في الجهاز يتم عدم إرسال إشارة هذا المستخدم (التخصيص باستطاعة معدومة) ومن ثم يُعاد تطبيق الخوارزمية الثالثة على باقي المستخدمين.

يمكن العمل مستقبلاً على صياغة مسألة تهدف لتوفير استهلاك الطاقة وتحسين الفعالية الطيفية في إرسال الوصلة الصاعدة ضمن قيود استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة في أجهزة الإرسال ومتطلبات جودة الخدمة مع هامش لاحتمال الانقطاع لكل مستخدم. كذلك يمكن دراسة أثر خطأ تقدير القناة في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA حيث أن البحث يفترض معلومات حالة القناة معلومة لدى المرسلات والمستقبل بشكل تام أي بخطأ تقدير معدوم.

6- المراجع العلمية REFERENCES

- [1] YANG. S, CHAN. P, LIANG. L, ZHU. J, and SHE. X, 2017- A Survey Uplink Multiple Access Schemes for 5G. ZTE Communications, Vol. 15, PP. 31-40.
- [2] LINGLONG. D, BICHAH. W, ZHIGUO. D, ZHAOCHENG. W, SHENG. C and LAJOS. H, 2017- A Survey of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 35, PP. 2181–2195.
- [3] RIASOL. I, NURILLA. A, OCTAVIA. A. D, KYUNG-SUP. K, 2017- Power domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges. IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol. 19, PP. 721–742.
- [4] KHA-HUNG. N, HIEN. V, NGUYEN. M, TUAN. X, CAO and OH-SOON. S, 2020- Rate Fairness and Power Consumption Optimization for NOMA-Assisted Downlink Networks. MDPI, Open Access Journal, vol. 14(1), PP. 1-18.
- [5] DAI. L. E, 2018 - A Survey of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G. IEEE Communication Surveys & Tutorials (20), 2294–2323.
- [6] XIAO. D , BAOGANG. L, and WEI. Z, 2020- Energy Consumption Minimization for Near-Far Server Cooperation in NOMA-Assisted Mobile Edge Computing System. IEEE Access, Vol. 8, PP. 133269 - 133282.
- [7] KONPAL. SHAUKAT. A, EKRAM. H, and MD. JAHANGIR. H, 2020- Partial Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in Downlink Poisson Networks , IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 19, PP. 7637 - 7652.
- [8] WEIDONG. M, and RUI. Z, 2020- Cooperative NOMA for Downlink Asymmetric Interference Cancellation. IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 9, PP. 884 - 888.

- [9] FANG. Y, XU. Q, VIET. P, and ZHIUOG. D, 2020- Energy-Efficient Design of IRS-NOMA Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 69, PP. 14088 – 14092.
- [10] VAEZI. M.O, DING, Z, POOR. V, 2018- Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond. Springer ,Switzerland. 692.
- [11] ZENG. M, LI. X, LI. G, HAO. W, DOBRE. O. A, 2020- Sum Rate Maximization for IRS-assisted Uplink NOMA. IEEE Communication Letters, Vol. 25.
- [12] WANG. X, ZHANG. Y, SHEN. R, XU. Y, ZHENG. F, 2020-DRL-Based Energy-Efficient Resource Allocation Frameworks for Uplink NOMA Systems. IEEE Internet of Things Journal, Vol.7.
- [13] TIAN. X, HUANG. Y, VERMA. S, 2020- Power allocation scheme for maximizing spectral efficiency and energy efficiency tradeoff for uplink NOMA systems in B5G/6G. Physical Communication (2020) 101227.
- [14] AKBAR. A, JANGSHER. S, BHATTI. F, 2021- NOMA and 5G emerging technologies: A survey on issues and solution techniques. Computer Networks 190
- [15] ZENG. M, HAO. W, DOPRE. O. A, DING. Z, POOR. H. V, 2020 -Power Minimization for Multi-Cell Uplink NOMA With Imperfect SIC. IEEE Wireless Communications Letters, vol. 9, no. 12, pp. 2030-2034.
- [16] BUDHIRAJA. I, EL. A, 2021- A Systematic Review on NOMA Variants for 5G and Beyond. IEEE Access , Vol. 9, PP. 85573-85644.

دراسة عددية للطبقة الحدية الحرارية لجريان الهواء الساخن ضمن أنبوب متقارب باستخدام ديناميك الموائع الحسابية CFD

د. أيوب حسن * د. محمد علي **

د. هيثم عيسى *** م. مي نهاد سعيد ****

الملخص

تم في هذا البحث دراسة عددية للطبقة الحدية الحرارية لجريان دون صوتي للهواء الساخن المار داخل الأنابيب المتقاربة، قرب جدران الأنبوب، والتي تؤثر بدورها على سرعة الهواء، حيث تم استخدام تقنية (CFD) واستخدام برنامج (ANSYS Fluent2021R1) لبناء نموذج محاكاة للأنبوب المتقارب المستخدم في منشأة تشغيل العنفات الريحية، وتمت دراسة تأثير زاوية ميل الأنبوب المتقارب على الطبقة الحدية الحرارية، عند شروط حدية حرارية مختلفة: درجة حرارة جدار الأنبوب ثابتة، وتدفق حراري ثابت، بهدف اختيار التصميم الأمثل للأنبوب المتقارب الذي يتحقق عنده السرعة العظمى عند مقطع الخروج.

* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهيك - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

** أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهيك - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

*** أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - كلية الهيك - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

**** طالبة دكتوراة - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهيك - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

دراسة عددية للطبقة الحدية الحرارية لجريان الهواء الساخن ضمن أنبوب متقارب باستخدام ديناميك
الموائع الحسابية CFD

تشير النتائج إلى أنّ سماكة الطبقة الحدية الحرارية، عند تدفق حراري ثابت ودرجة حرارة ثابتة للجدار، تصل إلى قيمة أعظمية بالقرب من مدخل الأنبوب المتقارب، ثم تعود بالانخفاض تدريجياً حتى مخرجه، كما أنّ سماكة الطبقة الحدية في حالة التدفق الحراري الثابت تكون أعلى من سماكة الطبقة الحدية في حالة درجة حرارة جدار ثابتة للأنبوب بمقدار (1.62%, 3.35%, 2.62%, 3.3%) عند قيم زاوية الميل (76,80,84,88) degree بالترتيب، كما لوحظ أنّه بازدياد زاوية ميل الأنبوب تزداد سماكة الطبقة الحدية الحرارية بمقدار (8.67%) في حالة التدفق الحراري الثابت، أما في حال درجة حرارة جدار ثابتة فمقدار الزيادة (10.44%).

الكلمات المفتاحية: الطبقة الحدية الحرارية، الأنابيب المتقاربة، CFD، زاوية الميل، الشروط الحدية الحرارية.

Numerical Study of Thermal Boundary Layer of the Hot Air Flow in Convergent Pipes Using Computational Fluid Dynamics CFD

*Dr. Ayoub Hasan

**Dr Mohamed Ali

*** Dr Heithem Issa

**** Eng. Mai Nuhad Saaeed

Abstract

The research has done numerical study for thermal boundary layer of the subsonic flow of the hot air which flows in the convergent pipes near the pipe walls which effects on the air speed, where it was used (CFD) technique and (ANSYS Fluent 2021R1), for creating simulation model which is used in the construction for working wind turbines, and it has studied the effect of the inclination angle of convergent pipe on the thermal boundary layer at different thermal boundary conditions: uniform wall temperature, and uniform heat flux, to choose the optimal design of the

*Professor in Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor in Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***Assistant Professor in Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**** Doctorate student in Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

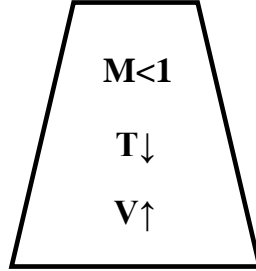
convergent pipe which is achieved at its maximum speed at the outlet section.

The results indicate that the thickness of thermal boundary layer at uniform heat flux and uniform wall temperature reaches to maximum value near the inlet of the convergent pipe, then decreases gradually up to the outlet section, and the thickness of boundary layer at uniform heat flux higher than the thickness of boundary layer at uniform wall temperature such (3.3%, 2.62%, 3.35%, 1.62%) at values of inclination angle (76,80,84,88) degree respectively, and it is also observed when the inclination angle increases the thickness of thermal boundary layer increases such (8.67%) in the case of uniform heat flux, and the amount of increase such (10.44%) in the case of uniform wall temperature.

Key Words: Thermal Boundary Layer, Convergent Pipes, CFD, Inclination Angle, Thermal Boundary Conditions.

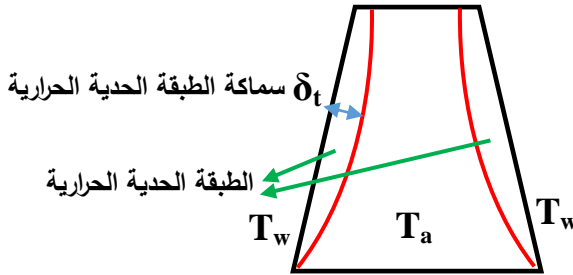
1. مقدمة

تستخدم الأنابيب المتقاربة للتحكم باتجاه الجريان للمائع، وزيادة سرعته عند رقم ماخ $M < 1$ ، فعند جريان الهواء الساخن ضمن الأنبوب المتقارب، تزداد السرعة وتتنخفض درجة حرارته كما في الشكل (1) [1]:



الشكل (1) فوهة متقاربة

نتيجة اختلاف درجة حرارة جدار الأنبوب T_w ودرجة حرارة المائع المتحرك (الهواء الساخن) T_a ، تتكوّن الطبقة الحدية الحرارية قرب الجدران، وهي المنطقة التي توجد بها تدرجات لدرجة الحرارة، وهذا التدرج ناجم عن التبادل الحراري بين جدار الأنبوب والمائع الملاصق له [2]:

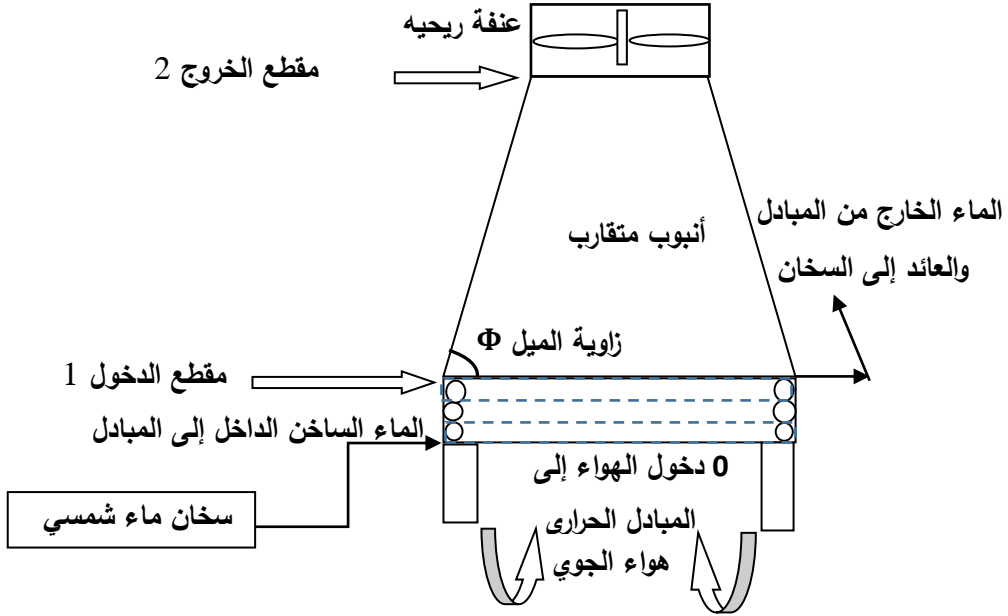


الشكل (2) الطبقة الحدية الحرارية عند جدران الأنبوب

إنّ تشكّل الطبقة الحدية عند جدران الأنبوب تمثل عائقاً للجريان وتخفض من سرعته، لذلك فإن دراسة الطبقة الحدية الحرارية ونموها هام جداً في الدراسات الحديثة، لما لها من تأثير سلبي واضح على تغير سرعة الجريان وطاقته. تمّ في هذا البحث دراسة عددية لحقل درجة الحرارة ضمن الأنبوب المتقارب، ودراسة تدرج درجة الحرارة عبر الطبقة الحدية الحرارية لجريان الهواء الساخن داخل

الأنبوب المتقارب، عن طريق دراسة نمو الطبقة الحدية الحرارية وتأثير مختلف المتغيرات عليها.

بناءً على ما تقدّم تمّ اعتماد أنبوب متغير المقطع (متقارب) في منشأة تشغيل العنفات الريحية [3] كما هو مبين في الشكل (3) والمكوّنة من الأقسام التالية: سخان ماء شمسي، مبادل حراري ذي جريان متعاكس (ماء-هواء)، أنبوب متقارب، عنفة ريحية.



الشكل (3) مخطط منظومة تشغيل العنفة الريحية

يقوم سخان الماء الشمسي بتسخين الماء الذي يشكل الوسيط الحراري الساخن، ويدخل إلى مبادل حراري (ماء-هواء) ويقوم بتسخين الهواء الجوي الذي يشكل الوسيط الحراري البارد [4]، عند مرور الهواء الجوي عبر المبادل الحراري ترتفع درجة حرارته، وتتنخفض كثافته ويرتفع نحو الأعلى باتجاه الأنبوب المتقارب، وتزداد سرعته حتى تصل إلى أعلى سرعة عند مخرج الأنبوب، حيث يصطدم بشفرات العنفة الريحية ويؤدي إلى تدويرها وتوليد الطاقة الكهربائية.

اتجهت العديد من الأبحاث السابقة نحو نمذجة الفوهات المتقاربة ثنائية البعد ذات جريان انضغاطي، البعض منها تناول تأثير الشروط الحرارية على الطبقة الحدية الحرارية وانتقال الحرارة [5] [6]، إذ توصل الباحث SHIMURA وآخرون [5] إلى أنّ سماكة

الطبقة الحدية في الفوهات فوق صوتية حيث درجة حرارة جدارها ثابتة ذات سماكة أقل من سماكة الطبقة الحدية في الجريانات الأدياباتية، أما الباحث HAN وآخرون [6] ألقوا الضوء على تأثير الشروط الحرارية على انتقال الحرارة في الفوهات المتقاربة ذات الجريان الصفائحي إذ أظهرت النتائج أنّ انتقال الحرارة في حالة التدفق الحراري الثابت أعلى من انتقال الحرارة عند درجة حرارة جدار ثابتة للفوهة.

قام الباحث KASHIWAGI وآخرون [7] بدراسة الطبقة الحدية الحرارية لجريان صفائحي ضمن أنبوب متقارب، وتوصل من خلال بحثه إلى أن الطبقة الحدية تتسارع باتجاه مقطع الخروج أي تتخفف سماكتها باتجاه الجريان، كما أنّ رقم نوسل الموضوعي، يتناقص في اتجاه الجريان بسبب تأثير الطبقة الحدية للفوهة المتقاربة، والباحث MOHAN [8] قام بإجراء تحليل رقمي ودراسة حقل جريان درجة الحرارة لجريان فوق صوتي باستخدام CFD حيث لوحظ انخفاض درجة الحرارة على امتداد محور الفوهة حتى تصل إلى قيمة أصغر عند مقطع الخروج.

اتجهت أبحاث أخرى نحو دراسة الطبقة الحدية في الفوهات المتقاربة ثلاثية الأبعاد لجريان انضغاطي عالي السرعة، [9-10-11]، وتم من خلالها دراسة نمو الطبقة الحدية وتأثير مختلف البارامترات، إذ توصل الباحث BROUGERDI وآخرون [9-10] إلى أنه بزيادة رقم رينولدز تتخفف سماكة الطبقة الحدية عند زاوية مخروط محددة (40 degree)، وبانخفاض زاوية ميل الفوهة تتخفف سماكة الطبقة الحدية عند قيمة محددة لرقم رينولدز ($Re=5*10^4$)، وتوصل الباحث FARHANIEH وآخرون [11] إلى أنّ سماكة الطبقة الحدية تصل إلى قيمة أعظمية بالقرب من مدخل الفوهة ثم تعود بالانخفاض بشكل تدريجي بالقرب من المخرج عند قيم مختلفة لزوايا الميل ورقم رينولدز.

ركزت أبحاث أخرى على دراسة الطبقة الحدية باستخدام Ansys Fluent، وتطوّرت إلى دراسة تأثير ارتفاع أول خلية في الشبكة الرقمية على سماكة الطبقة الحدية وعدد الطبقات الجدارية [12,13]، إذ توصل الباحث Witt وآخرون [12] إلى أنّه للحصول على نتائج دقيقة عند دراسة الطبقة الحدية يجب جعل قيمة ($y^+ < 1$) وبالتالي يصبح البعد بين عقد الشبكة صغير جدا الأمر الذي يؤدي إلى الحصول على نتائج دقيقة

لسماعة الطبقة الحدية، وأظهرت النتائج التي أجراها الباحث RUZICKA [13] على علاقة عدد الطبقات الجدارية في الشبكة الرقمية والطبقة الحدية أنه بازياد عدد الطبقات الجدارية حتى 15 يؤدي للحصول على نتائج أدق منها في حال عدد طبقات جدارية منخفض.

نستنتج مما سبق أنه وعلى الرغم من إحاطة الدراسات السابقة بتحليل الطبقة الحدية لجريانات قابلة للانضغاط ضمن الفوهات ثنائية وثلاثية الأبعاد، إلا أنها لم تتطرق إلى دراسة الطبقة الحدية الحرارية باستخدام Ansys Fluent لجريانات غير انضغاطية (non-compressible) ضمن الفوهات المتقاربة ثلاثية الأبعاد ذات الأبعاد الكبيرة عند سرعات جريان منخفضة، وعند شروط حرارية مختلفة، وزوايا ميل مختلفة للأنبوب المتقارب، [والجدير بالذكر أنّ صفة عدم الانضغاطية للجريان كون سرعة الهواء أصغر من (100m/sec) [1]، حيث أنّ أعلى قيمة تصل لها سرعة الهواء لدوران العنفة الريحية عند مقطع الخروج (12m/sec)].

2. هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة حقل درجة الحرارة وتحليل الطبقة الحدية الحرارية عند شروط حدية حرارية مختلفة تتضمن: التدفق الحراري الثابت وثبوت درجة حرارة الجدار، عند زوايا ميل مختلفة للأنبوب المتقارب، عن طريق حل معادلات الجريان باستخدام تقنية CFD للحصول على أعلى سرعة عند مقطع الخروج للأنبوب المتقارب.

3. مواد وطرق البحث

تمّ في هذا البحث التحليل الدقيق للطبقة الحدية الحرارية باستخدام علم ديناميك الموائع الحسابي CFD، وهو العلم الذي يختص بالطرق الرياضية العددية المستخدمة في حل معادلات الجريان وانتقال الحرارة، إذ تم إجراء عملية المحاكاة العددية اللازمة وبناء الشبكة الرقمية Mesh، ومن ثم تحويل جملة المعادلات التفاضلية إلى مجموعة من المعادلات الجبرية الخطية وفق ما يسمى بالتقطيع (Discretization)، ومن ثمّ حل هذه المعادلات لجميع خلايا الشبكة باستخدام برنامج ANSYS FLUENT2021 R2.

4. النتائج والمناقشة

تمّ تصميم الأنبوب المتقارب المبين في الشكل (3) وذلك وفق المعطيات التالية:

- القيم الاسمية للعنفة الريحية: سرعة العنفة الريحية عند مقطع الخروج لمنشأة تشغيل العنفات الريحية $V_2=12\text{m/sec}$ وقطر العنفة الريحية $D_2=1.25\text{m}$
- بارامترات الهواء الجوي: تم اختيار درجة حرارة الهواء الجوي، وسرعة الرياح وفق مخطط توزيع المناخ وسرعة الرياح في شهر تموز في المنطقة الساحلية صيفاً في القطر العربي السوري [14] (والجدير بالذكر أنّه تم اختيار بارامترات الرياح عند شهر تموز لأنّ سرعة الرياح منخفضة ودرجة حرارة مرتفعة، حيث تستخدم منشأة تشغيل العنفة الريحية لتشغيل العنفات الريحية عند سرعة رياح منخفضة [3])، فكانت بارامترات الهواء عند مدخل المبادل الحراري كما يلي:

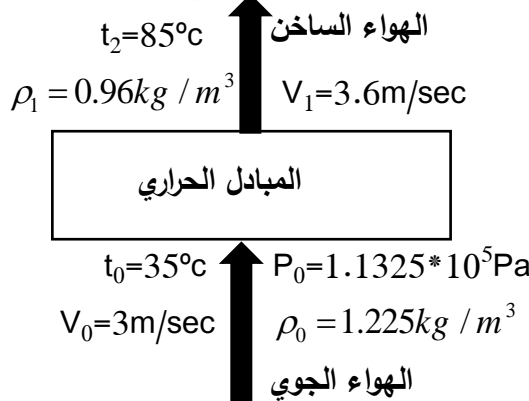
درجة حرارة الهواء الجوي صيفاً: $T_0=35\text{c}^0$

ضغط الهواء عند الشروط النظامية: $P_0=1.01325*10^5\text{Pa}$

سرعة الرياح صيفاً في شهر تموز تؤخذ وسطياً: $V_0=3\text{m/s}$

كثافة الهواء الجوي: $\rho_0 = 1.225\text{kg} / \text{m}^3$

تصبح بارامترات الهواء عند مدخل ومخرج المبادل الحراري المتوضّع عند مدخل الأنبوب المتقارب [2]، كما هو مبين في الشكل (4) (على اعتبار أن المبادل الحراري يقوم بتسخين الهواء ورفع درجة حرارته إلى الدرجة 85c^0):



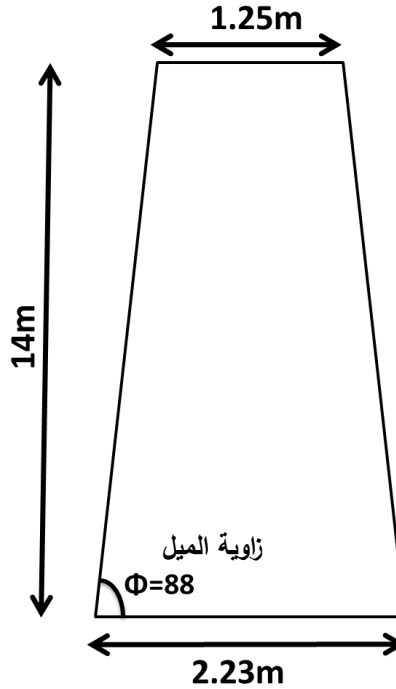
الشكل (4) بارامترات الهواء عند مقطعي الدخول والخروج للمبادل

يتم الحصول على السرعة عند مخرج المبادل الحراري V_1 بتطبيق معادلة الاستمرار بين
مقطعي الدخول والخروج للمبادل الحراري (0,1) [1]:

$$\rho_0.V_0.A_0 = \rho_1.V_1.A_1; A_0 = A_1$$

$$\Rightarrow \rho_0.V_0 = \rho_1.V_1$$

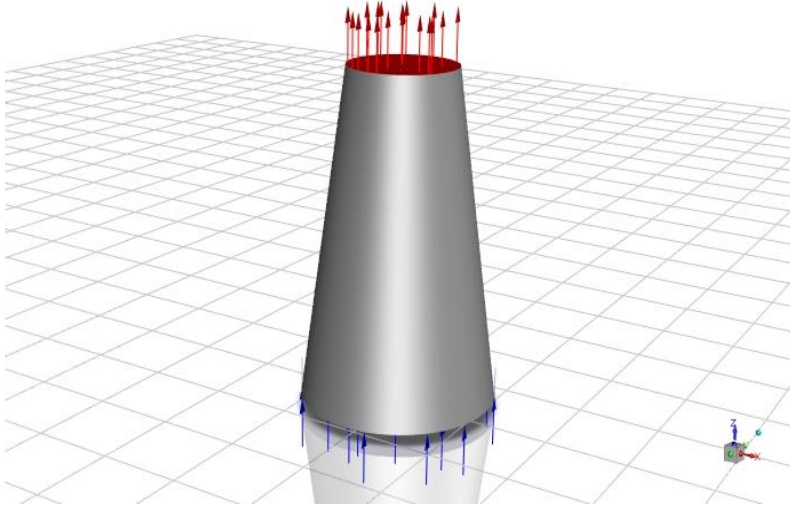
كما تمّ حساب أبعاد الأنبوب المتقارب وفق معادلة الاستمرار بين مقطعي الدخول
والخروج للأنبوب (على اعتبار جريان الهواء الساخن ضمن الأنبوب غير قابل للانضغاط
وبالتالي: $\rho_1 = \rho_2$)، تصبح معادلة الاستمرار كالتالي: $V_1.A_1 = V_2.A_2$ ، ويوضح
الشكل (5) أبعاد الأنبوب المتقارب:



الشكل (5) أبعاد البرج المتقارب

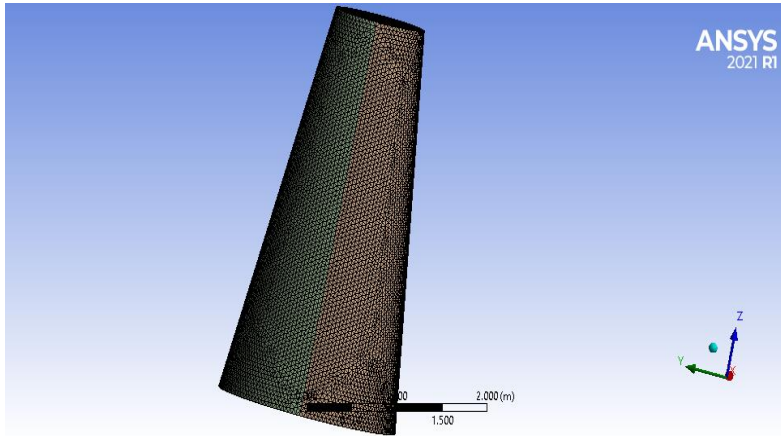
1.4 البيئة الهندسية والشبكة الحاسوبية

يبين الشكل (6) الأنبوب المتقارب ثلاثي الأبعاد، وتم الرسم باستخدام برنامج
ANSYS WORKBENCH وفق الأبعاد المبينة في الشكل (5) وذلك عند زوايا ميلان
مختلفة (76,80,84,88) degree:

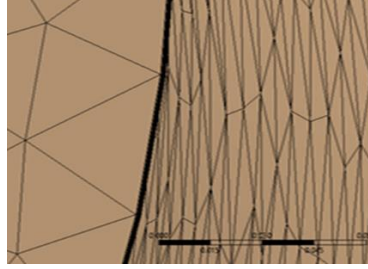


الشكل (6) نموذج البرج المتقارب ثلاثي الأبعاد

كما تمّ تصميم الشبكة الحاسوبية من نوع structure grid تحتوي هذه الشبكة على 15 طبقة جدارية [13]، ونسبة تنامي: (growth rate=1.2) كما هو مبين في الشكل (7,8):



الشكل (7) الشبكة الرقمية للبرج المتقارب



الشكل (8) الطبقات الجدارية

كما تمّ تحديد الشروط الحدية (Boundary Conditions) للجريان وعدد التكرارات والشروط الابتدائية ونسبة التقارب للحل $1e-6$ ونموذج الاضطراب والشروط الابتدائية في حالتين:

- تدفق حراري ثابت
- درجة حرارة ثابتة لجدار الأنبوب

يبين الجدول (1) مدخلات برنامج Ansys Fluent عند التدفق الحراري الثابت:

الجدول (1) مدخلات برنامج Ansys Fluent (تدفق حراري ثابت)

| | |
|---------------------|---|
| Models | Energy: On Viscous: (SST k-omega) |
| Boundary Conditions | nlet: Velocity Inlet Internal: Interior Surface Body Outlet: Pressure Outlet Wall: Walls, Thermal: Heat Flux=0 |
| Residual | Convergence Absolute Criteria $1e-6$ |
| Monitors | Method Initialization: Standard Initialization |
| Run Calculation | Number of iterations: 10000000 |

يبين الجدول (2) مدخلات برنامج Ansys Fluent عند درجة حرارة ثابتة للجدار:

الجدول (2) مدخلات برنامج Ansys Fluent (درجة حرارة جدران ثابتة)

| | |
|---------------------|---|
| Models | Energy: On, Viscous: (SST k-omega) |
| Boundary Conditions | nlet: Velocity Inlet Internal: Interior Surface Body Outlet: Pressure Outlet Wall: Walls, Thermal: Temperature=const |
| Residual | Convergence Absolute Criteria 1e-6 |
| Monitors | Method Initialization: Standard Initialization |
| Run Calculation | Number of iterations: 10000000 |

2.4 التحقق من دقة الحل Validation:

تمّ التحقق من دقة الحل وذلك عند زاوية محددة (88degree) وفق محورين:

1. التحقق وفق دقة الشبكة الرقمية (Mesh Independence)

2. التحقق عن طريق مقارنة النتائج لـ CFD مع النتائج التحليلية (النظرية).

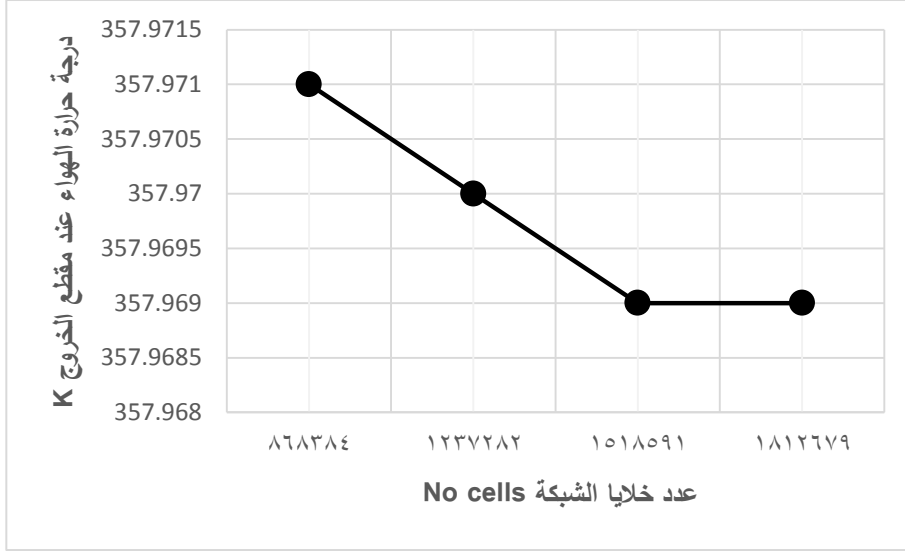
أولاً: اختبار دقة الشبكة Mesh independence

تمّ اختبار دقة الشبكة عند أربعة أنواع من الشبكات [15] باختلاف عدد الخلايا والعقد (شبكة ناعمة، وشبكة متوسطة الخشونة، وشبكة خشنة، وشبكة عالية الخشونة) عند زاوية معينة 88degree، وتم إيجاد درجة حرارة الهواء عند مقطع الخروج باستخدام برنامج Ansys Fluent كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول (3) قيم السرعة عند مقطع الخروج مع تغير عدد الخلايا

| عدد خلايا الشبكة | درجة الحرارة عند مقطع الخروج وفق (CFD) [K] |
|------------------|---|
| 868384 | 357.971 |
| 1237282 | 357.970 |
| 1518591 | 357.969 |
| 1812679 | 357.969 |

ويرسم علاقة درجة الحرارة عند مقطع الخروج وعدد خلايا الشبكة، كما هو مبين في
الشكل (9):



الشكل (9) علاقة درجة الحرارة عند مقطع الخروج مع تغير عدد الخلايا

نلاحظ ثبات الحل بشكل كبير عند ازدياد عدد الخلايا من الشبكة الخسنة إلى
الشبكة عالية الخسونة، وبالتالي تم تحقيق اختبار الشبكة.

ثانياً: التحقق وفق دقة الحل:

تم التحقق من دقة الحل عن طريق مقارنة درجة الحرارة الناتجة من CFD عند
مقطع الخروج في حالة الشبكة عالية الخسونة (عدد الخلايا: 1812679cells) وهي:
 $T_{2CFD}=357.969K$ مع النتائج التحليلية (النظرية) والناتجة وفق القانون التالي [16]:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2} = h_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

$$C_p T_1 + \frac{v_1^2}{2} = C_p T_2 + \frac{v_2^2}{2} \Rightarrow T_2 = \frac{1}{C_p} \left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + T_1 = 357.93516K = T_{2(analytical)}$$

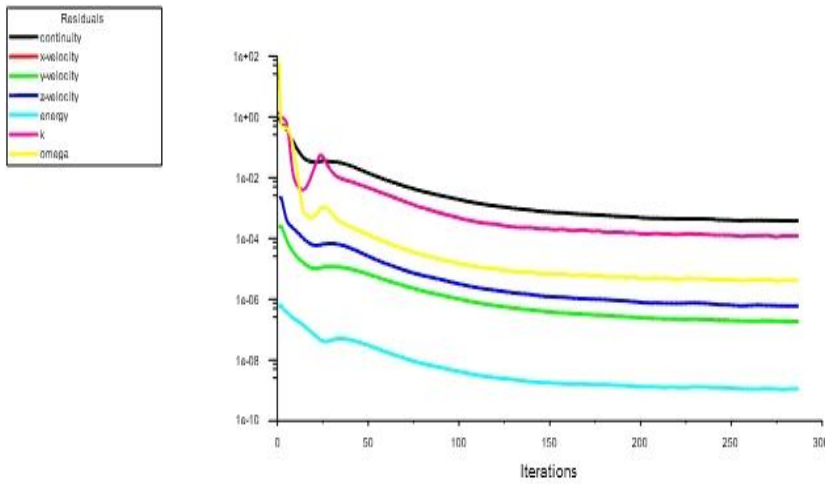
حساب نسبة الخطأ بين القيمة التحليلية لدرجة الحرارة وفق القانون السابق، وقيمة درجة
الحرارة عند مقطع الخروج الناتجة عن CFD وفق القانون التالي [17]:

$$error \% = \left(\frac{T_{2(CFD)} - T_{2(analytical)}}{T_{2(analytical)}} \right) * 100 = 0.00945\%$$

نلاحظ أن قيمة الخطأ ضئيلة بشكل كبير فالتطابق مقبول [18].

لذلك نستنتج مما سبق أنه تم التحقق من دقة الحل وفق CFD لذلك فإن نموذج المحاكاة والشبكة صحيح.

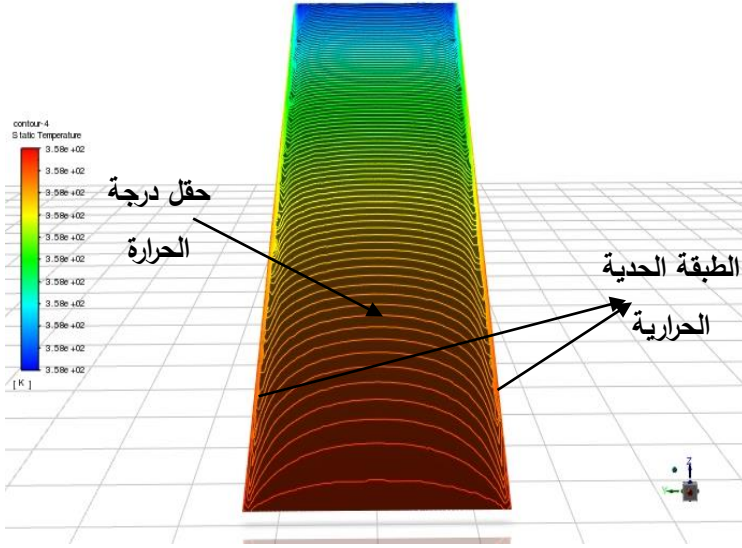
3.4 مخططات تقارب الحل: يبين الشكل (10) مخططات تقارب الحل لمعادلات الجريان:



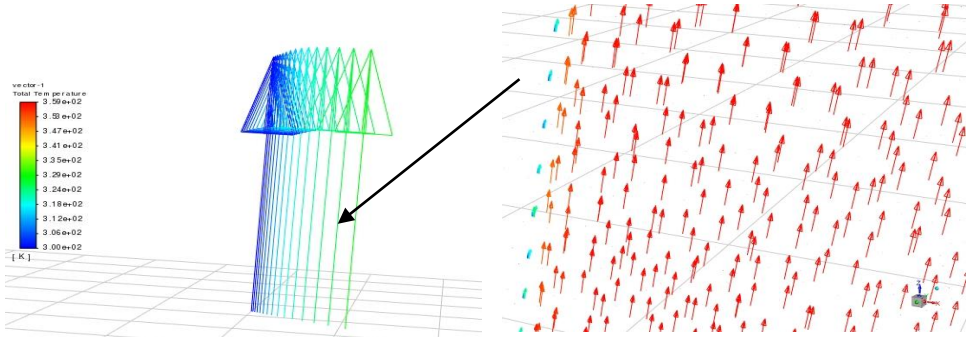
الشكل (10) مخططات تقارب الحل

4.4 دراسة الطبقة الحدية الحرارية

عند دخول الهواء الساخن إلى الأنابيب المتقارب تتخضع درجة حرارته نتيجة المقطع المتقارب كما هو مبين في الشكل (11) وتتشكل عند الجدران الطبقة الحدية الحرارية نتيجة التدرج في درجة الحرارة بالقرب من الجدران، كما هو مبين في الشكل (12):



الشكل (11) حقل درجة الحرارة في الأنبوب المتقارب



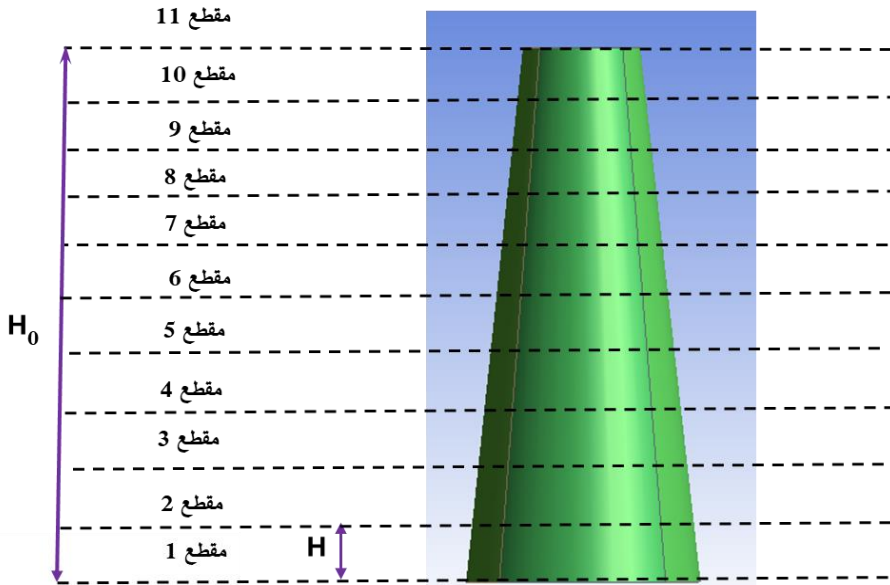
الشكل (12): أشعة درجة الحرارة (يميناً)، تدرج درجة الحرارة في الطبقة الحدية عند الجدران (يساراً)

تم استخدام برنامج (Ansys Fluent) لدراسة تغير سماكة الطبقة الحدية الحرارية بالقرب من جدار الأنبوب عند زوايا ميل مختلفة:

أولاً: تدفق حراري ثابت:

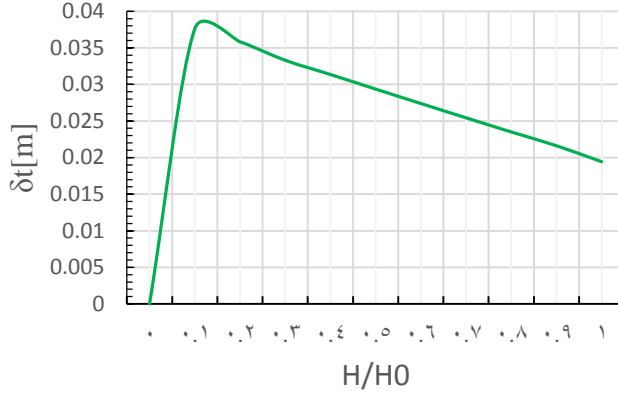
1- عند زاوية الميل (88 degree):

لتمثيل الطبقة الحدية بالقرب من جدار الأنبوب المتقارب، تم أخذ عدة مقاطع للأنبوب ابتداءً من المدخل (inlet) حتى مقطع الخروج (outlet)، كما هو مبين في الشكل (13):



الشكل (13) المقاطع المأخوذة من الأنبوب المتقارب

تم حساب سماكة الطبقة الحدية الحرارية عند كل مقطع باستخدام (Ansys Fluent)، ويرسم التغيرات النسبية لسماكة الطبقة الحدية الحرارية (δ_i) على كامل جدار الأنبوب، كما هو مبين في الشكل (14):



الشكل (14) تغير سماكة الطبقة الحدية النسبية عند الزاوية 88degree

كما تمّ اعتماد تقسيمات المحور الأفقي بشكل لا بعدي (الشكل (14))، إذ يمثل نسبة بُعد كل مقطع من المقاطع السابقة الموضحة في الشكل (13) عن مقطع الدخول H إلى كامل ارتفاع الأنبوب H_0

حيث: H_0 : ارتفاع الأنبوب عند الزاوية (88 degree)، وهو يساوي: $H_0=14m$ (كما هو مبين في الشكل (5))؛

H: ارتفاع متغير ضمن المجال $[0 - H_0]$ ؛

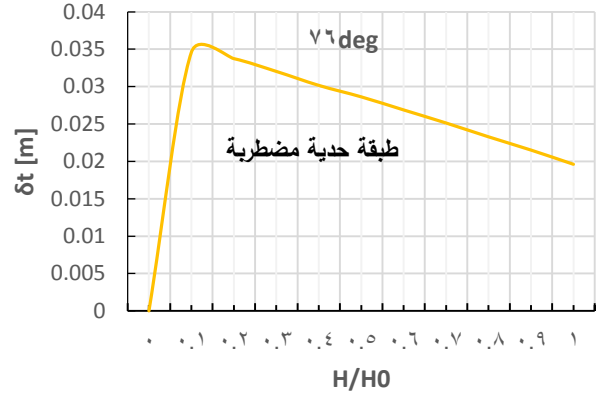
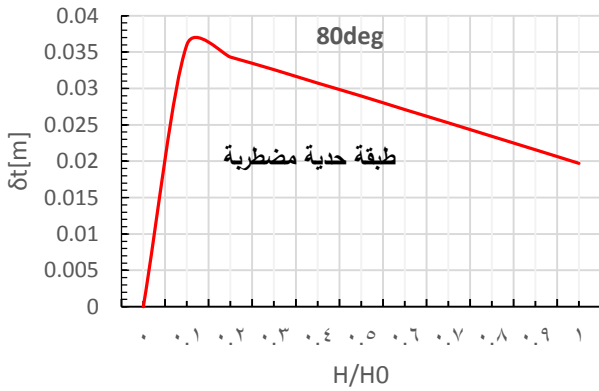
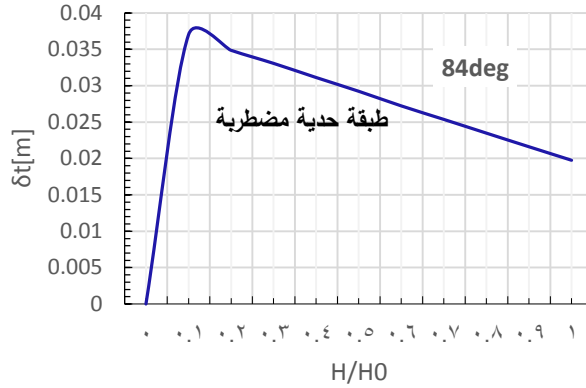
على سبيل المثال: عند مدخل الأنبوب: $H=0$ فإنّ النسبة: $\frac{H}{H_0} = 0$ ؛ وعند المخرج فإنّ:

$$\frac{H}{H_0} = 1 \text{ فإنّ النسبة: } H = H_0$$

$$\frac{H}{H_0} = 0.1 \Rightarrow H_{(section 2)} = 0.1 * H_0 = 0.1 * 14 = 1.4m \text{ عند المقطع 2 فإنّ:}$$

حيث: $H_{(section 2)}$: يمثل بعد المقطع (2) عن مقطع الدخول، والذي يشكل بدوره مقدار (10%) من الارتفاع الكلي للأنبوب وهكذا بالنسبة لباقي المقاطع، وأما بالنسبة للمحور الشاقولي يمثل سماكة الطبقة الحدية الحرارية.

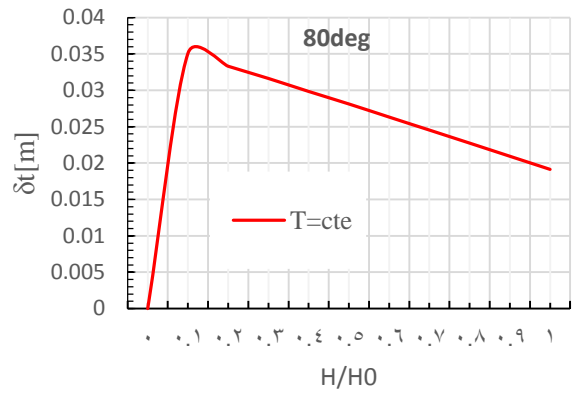
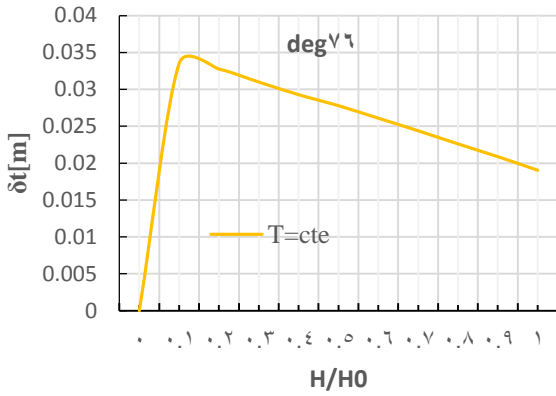
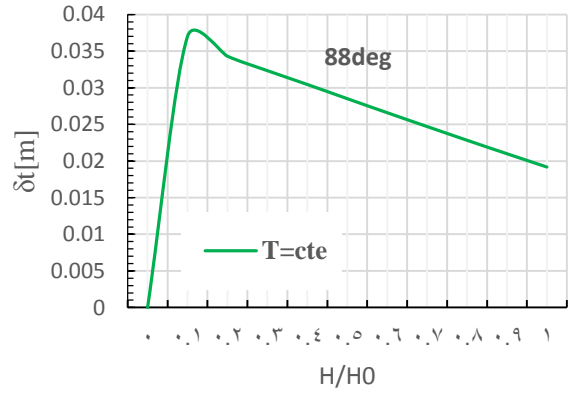
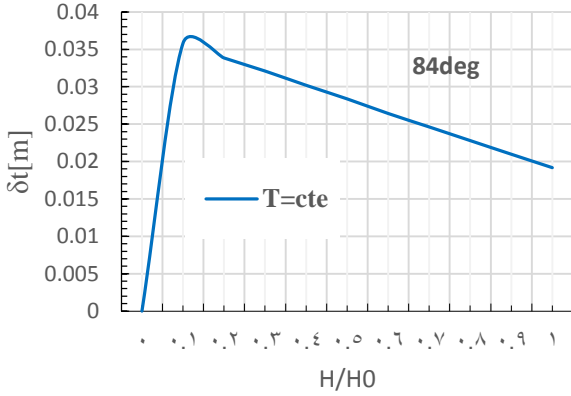
بناءً على ما تقدم تم إيجاد تغير سماكة الطبقة الحدية عند زوايا ميلان مختلفة كما هو مبين في الشكل (15):



الشكل (15) تغير سماكة الطبقة الحدية الحرارية النسبية عند زوايا ميل مختلفة (تدفق حراري ثابت) نلاحظ من المخططات السابقة أنّ سماكة الطبقة الحدية الحرارية تصل إلى أعلى قيمة لها على ارتفاع (10%) من الارتفاع الكلي للأنبوب، ثم تعود بالانخفاض تدريجياً حتى تصل إلى أخفض قيمة عند مقطع الخروج للبرج، وهذا محقق لأن سماكة الطبقة الحدية الحرارية تتناسب عكساً مع رقم رينولدز، وبالتالي كلما اتجه تيار الهواء الساخن باتجاه مقطع الخروج ازدادت قيمة رقم رينولدز وبالتالي تنخفض سماكة الطبقة الحدية الحرارية [19].

ثانياً: حالة درجة حرارة جدار ثابتة:

تمّ وباستخدام برنامج (Ansys Fluent) دراسة نمو الطبقة الحدية بالقرب من جدار الأنبوب عند درجة حرارة ثابتة للجدار، وزوايا ميل مختلفة (76-80-84-88) (degree) كما هو مبين في الشكل (16):

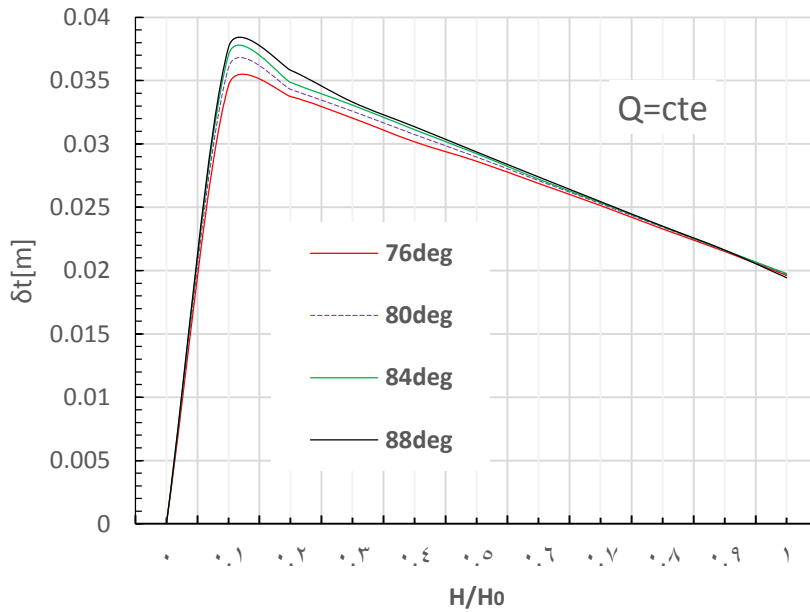


الشكل (16) تغير سماكة الطبقة الحدية الحرارية عند زوايا ميل مختلفة عند درجة حرارة جدار ثابتة

5.4 مناقشة تأثير زاوية الميل:

لدراسة تأثير زاوية ميل الأنبوب تمت مقارنة النتائج التي حصلنا عليها عند زوايا الميل المختلفة في حالتنا: ثبوت التدفق الحراري، وحالة درجة حرارة جدار ثابتة، كما يلي:
أولاً: حالة التدفق الحراري الثابت:

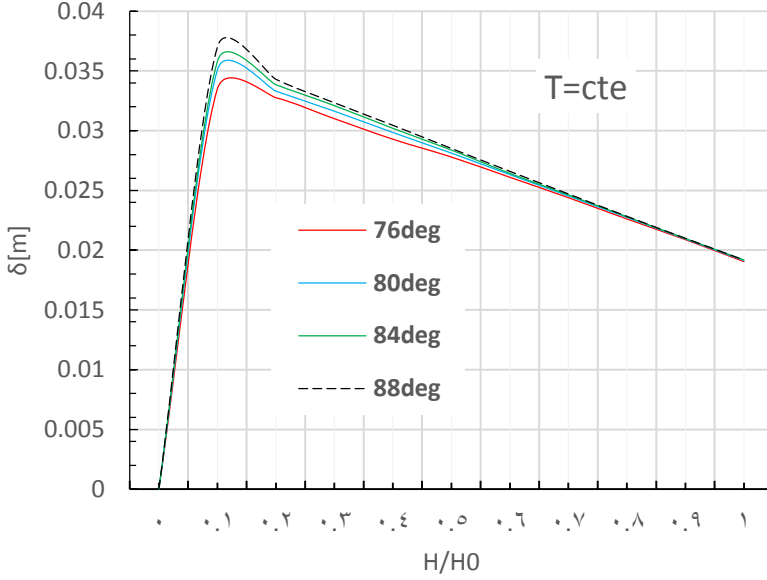
لتبيان علاقة زاوية الميل مع سماكة الطبقة الحدية الحرارية عند منطقة الجدار، تم رسم مخطط تغير سماكة الطبقة الحدية الحرارية عند زوايا ميل مختلفة، وذلك عند تدفق حراري ثابت، كما هو مبين في الشكل (17):



الشكل (17) تغير سماكة الطبقة الحدية عند زوايا ميل مختلفة (تدفق حراري ثابت)

نلاحظ من الشكل (17) أنه بانخفاض زاوية ميل الأنبوب تتخضع سماكة الطبقة الحدية الحرارية، كما نلاحظ من المخطط أنّ سماكة الطبقة الحدية الحرارية تصل إلى أعلى قيمة لها على ارتفاع (10%) من مدخل الأنبوب ثم تبدأ السماكة بالانخفاض باتجاه مقطع الخروج حتى تصل إلى أخفض قيمة لها عند مقطع الخروج.

ثانياً: درجة حرارة جدار ثابتة: يوضح الشكل (18) تغير سماكة الطبقة الحدية تبعاً لزاوية الميل عند درجة حرارة ثابتة للفوهة:

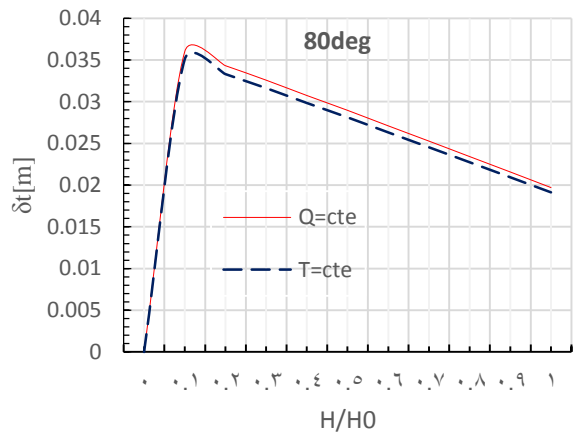
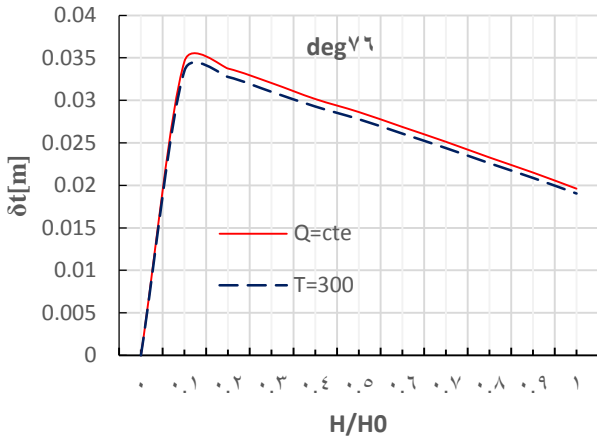
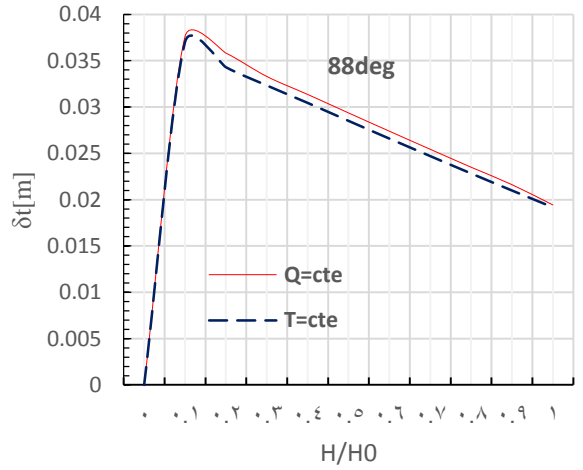
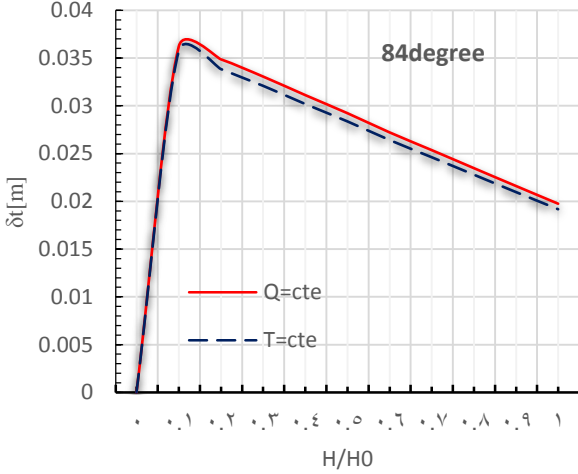


الشكل (18) تغير سماكة الطبقة الحدية الحرارية عند زوايا ميل مختلفة (درجة حرارة جدار ثابتة)

نلاحظ من المخططات السابقة أن سماكة الطبقة الحدية الحرارية تصل إلى قيمة أعظمية على ارتفاع 10% من مدخل الأنبوب، ثم تعود بالانخفاض تدريجياً حتى تصل إلى قيمة أصغرية عند مقطع الخروج، كما نلاحظ أن سماكة الطبقة الحدية الحرارية تنخفض بانخفاض زاوية ميل الأنبوب المتقارب.

6.4 - تأثير الشروط الحرارية على نمو الطبقة الحدية:

لتبيان تأثير الشروط الحرارية على سماكة الطبقة الحدية نرسم تغير سماكة الطبقة الحدية في حالي درجة حرارة الجدار ثابتة وتدفق حراري ثابت عند كل زاوية ميل للأنبوب كما هو مبين في الشكل (19):



الشكل (19) تغير سماكة الطبقة الحدية الحرارية في عند كل زاوية ميل للأنبوب (عند $T=cte$, $Q=cte$)

نلاحظ من المخططات السابقة أن سماكة الطبقة الحدية الحرارية عند درجة حرارة جدار ثابتة أخفض من سماكة الطبقة الحدية عند تدفق حراري ثابت عن زوايا مختلفة لميل الأنبوب المتقارب.

5. الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

يمكن الخلوص إلى الاستنتاجات الآتية:

1. إن نموذج المحاكاة صحيح بسبب تحقق اختبار دقة الشبكة هذا من جانب، ومن جانب آخر وجود تطابق كبير بين القيم النظرية (التحليلية) والقيم الناتجة من الـ CFD.
2. تبين من خلال حقل درجة الحرارة انخفاض درجة حرارة الهواء الساخن ابتداءً من مدخل الأنبوب تدريجياً حتى مخرجه، كما تبين وجود تدرج في درجة الحرارة داخل الأنبوب المتقارب حيث تبدأ قيمة درجة الحرارة من درجة حرارة الجدران، ثم تزداد تدريجياً حتى تصل إلى أعلى قيمة عند محور الأنبوب.
3. إن سماكة الطبقة الحدية الحرارية تصل إلى قيمة أعظمية على ارتفاع (10%) من الارتفاع الكلي للأنبوب عند حالتها (التدفق الحراري الثابت، ودرجة حرارة جدار ثابتة للأنبوب) وعند زوايا ميل مختلفة، ثم تعود بانخفاض تدريجياً حتى تصل إلى أخفض قيمة عند مقطع الخروج للبرج.
4. تبين وجود تأثير لزاوية ميل الأنبوب على سماكة الطبقة الحدية الحرارية عند تدفق حراري ثابت، حيث لوحظ انخفاض سماكة الطبقة الحدية الحرارية بانخفاض زاوية ميل الأنبوب بمقدار (8.67%).
5. انخفاض سماكة الطبقة الحدية الحرارية بانخفاض زاوية ميل الأنبوب عند ثبوت درجة حرارة جدار الأنبوب بمقدار (10.44%).
6. تبين وجود تأثير للشروط الحدية الحرارية على سماكة الطبقة الحدية الحرارية، إذ لوحظ أن سماكة الطبقة الحدية الحرارية في حالة التدفق الحراري الثابت أعلى من سماكة الطبقة الحدية الحرارية في حالة ثبوت درجة حرارة جدار الأنبوب بمقدار (3.3%) (1.62%, 3.35%, 2.62% عند تغير قيم زاوية الميل (76, 80, 84, 88) degree بالترتيب.

التوصيات

1. بناء نموذج تجريبي وإجراء كافة القياسات لدرجة في نقاط مختلفة من حقل الجريان، بهدف دراسة الطبقة الحدية الحرارية تجريبياً وإجراء مقارنة بين نتائج المحاكاة والنتائج التجريبية.

6. المراجع

- [1] POTTER, M. WIGGERT, D 1991-MECHANICS OF FLUIDS. Prentic-Hall International Editions, UK London, 692p.
- [2] HASAN, A 2008-Heat and Mass Transfer. Tishreen University, Syrian Arab Republic, 789p.
- [3] HASAN, A. ALI, M. ISSA, H. SAAEED, M 2022 An Analytical Study of Construction for Working Wind Turbines in the Areas of Low Speed of the Wind, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol. 44, No. 2, 29-42.
- [4] ROGERS, G. MAYHEW, Y 2014-Engineering Thermodynamics Work and Heat Transfer. PEARSON, Fourth Edition, 711p.
- [5] SHIMURA, K. ASAKO, Y. LEE, J. H 1994 NUMERICAL ANALYSIS FOR SUPERSONIC FLOWS IN A COOLED NOZZLE, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications Taylor & Francis, Vol. 26, No. 6, 631-641.
- [6] HAN, S. H. PARK, H. J. KIMC, Y. H. LEE, D. H 2021 The effects of thermal boundary conditions on the heat transfer characteristics of laminar flow in milli-scale confined impinging slot jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 168, 10.
- [7] KASHIWAGI, T. SUGU, N 1980 Heat Transfer of The Critical Air Flow in a Nozzle, Bulletin of the JSME, Vol. 23, No. 175, 60-167.
- [8] MOHAN, N. P 2016 Modeling and Simulation of Convergent-Divergent Nozzle Using Computational Fluid Dynamics (CFD), International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol.3, No.8, 346-350.
- [9] BROUGERDI, A. N. KEBRIAEE, A 2012 Simulation of Turbulent Swirling Flow in Convergent Nozzles, Scientia Iranica Sharif University of Technology, Vol.19, No. 2, 258-265.
- [10] BROUGERDI, A. N. KEBRIAEE, A 2010 Pressure Loss of Turbulent Swirling Flow in Convergent Nozzles, International Conference On Mechanical Engineering ISME2010 -3101, Iran, Vol. 18, 6.

- [11] FARHANIEH, B. FIROOZABADI, B 2011 Turbulent flow in converging nozzles part one: boundary layer solution, Applied Mathematics and Mechanics (English Edition), Berlin Heidelberg, 645-662.
- [12] Witt, P. Khan, M. Brooks, G 2007 CFD modelling of heat transfer in supersonic nozzles for magnesium production, JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 11.
- [13] RUZICKA, P 2018 Modeling of Boundary Layer and the Influence on Heat Transfer with Help of CFD, 17th Conference of Power System Engineering, Thermodynamics and Fluid Mechanics, Vol. 2047, No.1, 12.
- [14] Wind Atlas in Syrian Arab Country.
- [15] SRINIVAS, G, RAKHAM, B 2017 Experimental and numerical analysis of convergent nozzle, Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering, India, 14.
- [16] HASAN, A 2013-Thermodynamic /2/. Tishreen University Publications, Syrian Arab Republic, 730p.
- [17] Khallouf, A. Mohamad, N. al-Muhammad. A 2021 Computation Ship Resistance Using Computational Fluid Dynamics (CFD), Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol. 43, No. 2, 77-87.
- [18] MADHU, B. P. SAMEER, S. KUMAR, M. K. MANI, G. M 2017 Cfd Analysis of Convergent-Divergent and Contour Nozzle, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, Vol.8, No.8, 670-677.
- [19] KHAN, S. A. ABID, A. IBRAHIM, O. M.2021 CFD analysis of compressible flows in a convergent-divergent nozzle, Elsevier ScienceDirect, U.S.A, Vol.46, 2835-2842.